

Henrique Miguel Tovar de Lemos Medina Duarte

Licenciatura em Engenharia do Ambiente



Identificação do Potencial de Eficiência Energética do Edifício Residencial de Alfama

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Energias Renováveis

Orientador: Doutor João Pedro Gouveia, Investigador Auxiliar, FCT NOVA

Co-orientador: Professora Doutora Maria Júlia Fonseca Seixas, Professora Associada com Agregação, FCT NOVA

Júri:

Presidente:	Professor Doutor Rui Miguel Amaral Lopes
Arguente	Doutor Ricardo Manuel Mafra Barbosa
Vogais:	Doutor João Pedro Gouveia



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

[fevereiro 2021]

Identificação do Potencial de Eficiência Energética do Edifício Residencial de Alfama

Copyright © Henrique Medina Duarte, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha gratidão ao Doutor João Pedro Gouveia, orientador da dissertação, pela sua disponibilidade e motivação diária para desenvolver a dissertação. Também quero agradecer a grande ajuda ao longo destes meses, e as preciosas sugestões que me permitiram finalizar este trabalho. Agradeço também por me ter oferecido uma bolsa de investigação no CENSE. Com a sua ajuda, foi possível enquadrar o meu trabalho em dois projetos europeus co-financiados pelo EIT Climate KIC: *SUSHI – Sustainable Historic City Districts* e *PAS2020: Pan-European Approach on Sustainable Heritage: Regeneration by a Retrofitting Economy* com apoio financeiro associado. Com esta bolsa, evolui o meu conhecimento científico e a desenvolvi a minha aprendizagem nestas temáticas.

Agradeço à Professora Doutora Júlia Seixas por me ter dado a oportunidade de realizar a dissertação sob a sua orientação, pela ajuda na definição do tema, pela sua disponibilidade e importante análise crítica na revisão do trabalho.

Agradeço ao Mestre Pedro Palma, pela disponibilidade em esclarecer dúvidas pontuais com que me deparei principalmente no cálculo das necessidades energéticas que representam um passo muito importante nos resultados finais da minha tese.

O meu agradecimento ao colega Henrique Luz, pela partilha de informação que contribuiu para o desenvolvimento desta dissertação.

E por último, um especial agradecimento à minha família e amigos, pelo interesse, apoio e incentivo constantes, que se relevaram igualmente fundamentais para a concretização desta dissertação.

Resumo

Portugal tem demonstrado um elevado grau de ambição e determinação para estar na vanguarda da transição energética por via de uma aposta forte nas energias renováveis, na sustentabilidade e eficiência energética.

A metodologia utilizada nesta dissertação para avaliar o potencial de eficiência energética dos edifícios das habitações no bairro de Alfama, selecionado como caso de estudo, suporta-se na análise de seis tipologias de edifícios residenciais representativos no bairro. De forma a caracterizar ao pormenor as residências incluídas nas tipologias, recorreu-se à análise de 4142 certificados energéticos provenientes da base de dados nacional de certificados energéticos (ADENE).

As necessidades energéticas obtidas para os cenários de melhoria foram comparadas com as da situação atual. No cenário A, as aplicações das medidas de melhoria na cobertura permitem uma redução potencial de 29% das necessidades totais, nos envidraçados 11% e nas paredes 54%. Relativamente às necessidades de arrefecimento de espaços, as melhorias da cobertura induzem uma redução de 33%, nos envidraçados 10% e nas paredes as necessidades aumentaram cerca de 6%. Quando aplicadas todas as medidas simultaneamente, verificou-se uma redução de 92% das necessidades de aquecimento e de 35% nas necessidades de arrefecimento face à situação atual (cenário A). Neste cenário a reabilitação das coberturas estima-se em cerca de 10,5 M€ em todas as tipologias, as janelas cerca de 67 M€ e para as paredes 25 M€. A aplicação destas medidas em todos os edifícios de Alfama exige um investimento global de perto 100 milhões de euros. No Cenário B, com a aplicação das medidas na cobertura dos edifícios estima-se uma redução potencial das necessidades de aquecimento de 28%, nos envidraçados de 20% e de 47% nas paredes. Quanto às necessidades de arrefecimento, notou-se uma redução de 31% nas coberturas e um aumento de 6% nos envidraçados e 4% nas paredes. Estes valores de impacto refletem o *trade off* existente entre aplicações de medidas de renovação para melhorar o conforto térmico durante ambas as estações (de aquecimento e arrefecimento). Por último, a implementação das medidas de cada envolvente simultaneamente no cenário B resulta em reduções de 82% no aquecimento e 20% para o arrefecimento. Para o cenário B, a aplicação das medidas de eficiência energética para a cobertura poderão custar cerca de 2,9 M€, para as janelas cerca de 26 M€ e para as paredes perto de 17 milhões de euros, perfazendo um total de 45 M€.

Palavras-chave: conforto térmico; eficiência energética; necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento; tipologias de edifícios residenciais.

Abstract

Portugal has set a high degree of ambition and determination to be at the forefront of the energy transition through a strong commitment to renewable energies, sustainability and energy efficiency.

The methodology used in this dissertation to evaluate the energy efficiency potential of the residential buildings in the Alfama neighborhood, selected as a case study, is supported by the analysis of six types of representative residential buildings. In order to characterize in detail, the dwellings included in the typologies, an analysis of 4142 energy certificates from the national database of energy performance certificates (ADENE) was used.

The energy needs obtained for the retrofitting scenarios were compared with those of the current situation. In scenario A, the application of measures to improve rooftop coverage allows a reduction of 29% of space heating energy needs, 11% by windows related measures, and 54% in walls. With regard to space cooling needs, the improvements in coverage induce a decline of 33%, of windows 10% and on the walls the needs have increased by approximately 6%. When all measures were applied simultaneously, there was a 92% reduction in space heating needs and a 35% reduction in cooling needs compared to the current situation. In scenario A, the application of roof retrofitting measures is estimated at around 10.5 M€ for all typologies, windows around 67 M€ and for walls 25 M€. The application of these measures in all buildings present in Alfama, requires an investment of approximately 100 million euros. For scenario B, the application of the measures in the building stock influenced the reduction of heating needs by 28% due to improved insulation of roofs, 20% due to windows replacement and 47% due to walls. Regarding cooling needs, roof measures allows a potential decrease of 31%, but an increase of 6% from windows and 4% from walls. These impact values reflect the trade-off between applications of renovation measures to improve thermal comfort during both seasons (heating and cooling). Finally, the implementation of the overall set of measures show a significant reduction, of 82% in space heating and 20% in space cooling energy needs. For this scenario, the retrofitting measures for all residential building stock in Alfama requires an investment of 45 M€ (2.9 M€ for roofs; 26 M€ for windows; and 17 M€ for walls retrofitting).

Keywords: thermal comfort; energy efficiency; energy needs for space heating and cooling; typologies of residential buildings.

Índice

Agradecimentos.....	IX
Resumo.....	XI
Abstract	XIII
Índice de Figuras	XIX
Índice de tabelas.....	XXI
Abreviaturas e Unidade.....	XXIII
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação.....	1
1.2. Objetivos e Âmbito	2
1.3. Organização da Dissertação.....	3
2. Revisão de Literatura	5
2.1. Consumo de energia nos edifícios na União Europeia.....	5
2.2. Consumo de energia nos edifícios em Portugal	7
2.3. Programas e planos com impacto no edificado.....	8
2.3.1. Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050	9
2.3.2. Plano Nacional de Energia e Clima 2030	11
2.3.3. Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios.....	12
2.3.4. Plano Diretor Municipal de Lisboa.....	13
2.3.5. Plano de Urbanização do núcleo Histórico de Alfama e Colina do Castelo	14
2.3.6. Planos de Pormenor de Reabilitação Urbana para Alfama, Castelo e Mouraria	14
2.3.7. Regulamento Municipal do Alojamento Local	15
2.4. Financiamento para Renovação dos Edifícios	16
2.4.1. Fundo Ambiental.....	16
2.4.2. Instrumento financeiro de reabilitação e revitalização urbana (IFRRU)	16
2.5. Estudos sobre a eficiência energética de edifícios em Portugal.....	17
3. Metodologia	1
3.1. Caso de estudo	4
4. Resultados e Discussão	7
4.1. Identificação de tipologias representativas dos edifícios residenciais	7
4.1.1. Período de construção	8
4.1.2. Número de andares.....	9

4.1.3. Tipo de edifício	10
4.1.4. Tipo de cobertura	11
4.2. Tipologia do edificado em Alfama (1ª Fase - 2A)	12
4.3. Localização geográfica das tipologias (1ª Fase – 2B).....	14
4.3.1. Localização geográfica ao nível das subsecções.....	14
4.3.2. Localização geográfica e número de edifícios	17
4.3.3. Localização geográfica das tipologias dominantes	19
4.4. Caracterização tipológica a partir dos certificados energéticos (2ª Fase) ..	20
Paredes	21
Cobertura.....	22
Pavimento.....	24
Pontes térmicas lineares	25
Pontes térmicas planas e vãos opacos	27
Envidraçados	28
4.5. Medidas de melhoria para cada envolvente	29
4.5.1. Cobertura.....	30
4.5.2. Paredes	30
4.5.3. Envidraçados	31
4.6. Áreas totais das Envolventes em cada tipologia	32
4.6.1. Áreas médias	32
4.6.2. Coeficientes de transmissão térmica (Ufinal)	33
4.7. Cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento	34
4.7.1. Necessidades de energia útil para aquecimento	34
4.7.2. Necessidades de energia útil para arrefecimento de espaço.....	36
4.8. Censurização das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento	37
4.8.1. Situação Atual	38
4.8.2. Cenário A - “ <i>melhor desempenho energético</i> ”	38
4.8.3. Cenário B - “ <i>menor custo</i> ”	42
4.9. Necessidades de energia útil total para aquecimento e arrefecimento no Bairro de Alfama (3ª Fase – 3A)	46
4.9.1. Situação atual	47
4.9.2. Cenário A – “ <i>Melhor desempenho energético</i> ”	47
4.9.3. Cenário B – “ <i>menor custo</i> ”	49
4.9.4. Mapeamento das necessidades de energia útil total de aquecimento e arrefecimento ao nível das subsecções em cada cenário	51

Situação Atual	51
Cenário A	52
Cenário B	54
4.10. Caracterização das necessidades energéticas das envolventes entre os dois cenários	56
4.10.1. Cobertura.....	56
4.10.2. Janelas	57
4.10.3. Paredes	58
4.11. Custos de investimento das medidas de melhoria (3ª Fase - B).....	59
4.11.1. Cenário A – “ <i>Melhor desempenho energético</i> ”	60
4.11.2. Cenário B – “ <i>Menor custo</i> ”	61
4.11.3. Mapeamento dos custos de investimento ao nível das subsecções em cada cenário	61
5. Conclusão.....	63
6. Referências Bibliográficas	67
Anexo A - Metodologia de determinação das necessidades de aquecimento e arrefecido, estabelecidas no REH.	75
Anexo B - Medidas de melhoria usadas nas envolventes	81
Anexo C - Mapeamento das necessidades energéticas e do custo de investimento ao nível das subsecção de cada freguesia	83

Índice de Figuras

Figura 2. 1. Consumo de energia final por setor, UE-28, 2018 (Eurostat, 2020)	5
Figura 2. 2. Consumo de energia final por ano, UE-28, 2018 (Eurostat, 2020)	6
Figura 2.3. Evolução do consumo de energia final por combustível no setor residencial, UE-28 (Eurostat, 2020)	6
Figura 2. 4. Consumo de energia final em 2010 (esquerda) e em 2019 (direita), (DGEG, 2019)	7
Figura 2.5. Consumo de energia final em Portugal no sector residencial entre 2010-2019 (DGEG, 2019).....	7
Figura 2.6. Contribuição da redução d emissões dos vários setores económicos para a neutralidade carbónica Adaptado de (APA, 2018).....	10
Figura 3. 1. Esquema da metodologia geral da dissertação	4
Figura 3. 2. Freguesias de Alfama a ser analisadas. Fonte: adaptado de Censos 2011 (INE, 2011)	6
Figura 4. 1. Número de edifícios nas freguesias em análise consoante o período de construção. Fonte: adaptado de Censos 2011 (INE, 2011)	8
Figura 4. 2. Tipo de Edifícios presentes no bairro de Alfama (INE, 2011)	10
Figura 4. 3. Tipo de Cobertura presente nos edifícios em Alfama.....	11
Figura 4. 4. Localização geográfica de cada tipologia ao nível das subseções para as freguesias de Alfama.....	15
Figura 4. 5. Localização do número de edifícios em cada subseção.....	18
Figura 4. 6. Tipologia dominante em cada subseção estatística do Bairro de Alfama (INE, 2011)	19
Figura 4. 7. Percentagem de certificados existentes em cada tipologia (ADENE, 2018) . 20	
Figura 4.8. Representatividade (%) de cada tipo de cobertura nos certificados energéticos (ADENE, 2018).....	23
Figura 4.9. Representatividade (%) de cada tipo de pavimento nos certificados energéticos (ADENE, 2018).....	24
Figura 4.10. Representatividade (%) de cada tipo de pavimento nos certificados energéticos (ADENE,2018).....	26
Figura 4. 11. Representatividade (%) de cada tipo de envidraçado nos certificados energéticos (ADENE, 2018)	28
Figura 4. 12. Valores do U ($W/m^2 \cdot K$), (esquerda) e do custo de investimento ($€/m^2$), (direito) dos isolamentos usados nas coberturas. Adaptado de Palma et al. (SD).....	30
Figura 4. 13. Valores do U ($W/m^2 \cdot K$), (esquerda) e do custo de investimento ($€/m^2$), (direita) dos isolamentos usados nas paredes. Adaptado de Palma et al. (SD)	31
Figura 4.14. Valores do U ($W/m^2 \cdot K$), (esquerda) e do custo de investimento ($€/m^2$), (direita) das soluções usadas nas janelas. Adaptado de Palma et al. (SD)	32
Figura 4. 15. Comparação das necessidades de aquecimento entre o Cenário A e a situação atual	41

Figura 4. 16. Comparação das necessidades de arrefecimento entre o Cenário A e a situação atual	42
Figura 4.17. Comparação das necessidades de arrefecimento entre o Cenário B e a situação atual	45
Figura 4. 18. Comparação das necessidades de arrefecimento entre o Cenário B e a situação atual	45
Figura 4. 19. Necessidades energéticas totais para as tipologias na situação atual.....	47
Figura 4. 20. Necessidades finais de aquecimento (em cima) e arrefecimento (em baixo) de cada envolvente incluída no cenário A	49
Figura 4. 21. Necessidades finais de aquecimento (em cima) e arrefecimento (em baixo) de cada envolvente incluída no cenário	50
Figura 4. 22. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento em Alfama [kWh/ano]	51
Figura 4. 23. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento em Alfama [kWh/ano]	52
Figura 4. 24. Necessidade Total de aquecimento ao nível das subsecções [kWh/ano].....	53
Figura 4. 25. Necessidade Total de aquecimento ao nível das subsecções [kWh/ano].....	53
Figura 4. 26. Necessidades total de aquecimento no cenário B [kWh/ano]	54
Figura 4. 27. Necessidades total de aquecimento no cenário B [kWh/ano]	55
Figura 4. 28. Necessidade energéticas totais de aquecimento (em cima) e de arrefecimento (em baixo) para as coberturas nos dois cenários	57
Figura 4. 29. Necessidade energéticas totais de aquecimento (em cima) e de arrefecimento (em baixo) para as janelas nos dois cenários.....	58
Figura 4. 30. Necessidade energéticas totais de aquecimento (em cima) e de arrefecimento (em baixo)	59
Figura 4. 31. Custo de investimento das envolventes para o cenário A.....	60
Figura 4. 32. Custo de investimento das envolventes para o cenário B	61
Figura 4. 33. Custos de Investimento no cenário A [€]	62
Figura 4. 34. Custos de Investimento no cenário A [€]	62

Índice de tabelas

Tabela 3. 1. Freguesias antigas pertencentes a Santa Maria Maior e São Vicente. Fonte: (Cruz & Seca, 2013).....	5
Tabela 4. 2. Número de edifícios em cada freguesia segundo o período de construção (INE, 2011)	9
Tabela 4. 3. Número de edifícios em Alfama consoante o número de andar (INE, 2011) ..	9
Tabela 4. 4. Número de edifícios em cada freguesia consoante o número de andares (INE, 2011)	10
Tabela 4. 5. Número de edifícios em cada freguesia tendo em vista o tipo de edifício (INE, 2011)	11
Tabela 4. 6. Número e percentagem de edifícios com cobertura inclinada (INE, 2011) ..	12
Tabela 4. 7. Tipologias dos edifícios presentes no bairro de Alfama (INE, 2011)	13
Tabela 4. 8. Número e percentagem de edifícios presentes em cada tipologia (INE, 2011)	14
Tabela 4. 9. Percentagem de subseções que incluem as tipologias (INE, 2011)	15
Tabela 4.10. Percentagem de cada tipologia presente em cada freguesia de forma a determinar a qual a tipologia dominante (INE, 2011)	19
Tabela 4. 11. Representatividade (%) de cada tipo de parede nos certificados energéticos (ADENE, 2018).....	21
Tabela 4.12. Representatividade (%) de cada tipo de parede por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018)	22
Tabela 4.13. Representatividade (%) de cada tipo de cobertura por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018).....	23
Tabela 4.14. Representatividade (%) de cada tipo de pavimento por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018).....	24
Tabela 4.15. Pontes térmicas lineares presentes nos certificados em cada freguesia (ADENE, 2018).....	25
Tabela 4.16. Representatividade (%) de cada tipo de ponte térmica linear por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018).....	27
Tabela 4. 17. Número de Certificados para um tipo de janela em cada tipologia (ADENE, 2018)	28
Tabela 4. 18. Área média dos tipos de envolventes dos alojamentos em Alfama (ADENE, 2018)	33
Tabela 4. 19. Valor médio U para as tipologias de $[W/m^2 \cdot K]$	34
Tabela 4. 20. Necessidades nominais de energia da situação atual.....	38
Tabela 4. 21. Necessidades energéticas associadas a melhoria da cobertura para o cenário A.....	39
Tabela 4. 22. Necessidades energéticas associadas a melhoria nos envidraçados para o cenário A	39
Tabela 4. 23. Necessidades energéticas associadas a melhoria nas paredes para o cenário A	40

Tabela 4. 24. Necessidades nominais de energia associadas a melhoria em todas as envolventes para o cenário A	41
Tabela 4. 25. Necessidades energéticas associadas a melhoria na cobertura para o cenário B	42
Tabela 4. 26. Necessidades nominais de energia associadas a melhoria nos envidraçados para o cenário B	43
Tabela 4. 27. Necessidades energéticas associadas a melhoria na parede para o cenário B	44
Tabela 4. 28. Necessidades energéticas associadas a melhoria em todas as envolventes para o cenário B	44
Tabela 4. 29. Número de edifícios e de alojamentos em cada tipologia (INE, 2011).....	46

Abreviaturas e Unidade

AL – Alojamento Local
CPCI – Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia
EED - Diretiva da Eficiência Energética
ELPRE – Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios
ENRE - Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios
EUSILC - *European Union Statistics on Income and Living Conditions* (Inquérito anual da União Europeia sobre Rendimento e Condições de Vida)
EUA - Estados Unidos da América
FEEI - Fundos Europeus Estruturais e de Investimento
GEE - Gases de Efeito de Estufa
GPL - Gás de petróleo liquefeito
ICESD - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico
IFRRU – Instrumento Financeiro de Reabilitação e Revitalização Urbana
INE – Instituto Nacional de Estatística
NTC – Necessidades nominais de aquecimento
NVC – Necessidade nominais de arrefecimento
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OMS – Organização Mundial da Saúde
PAA - Programa de Arrendamento Acessível
PAS2020 - *Pan-European Approach on Sustainable Heritage: Regeneration by a Retrofitting Economy*
PEES - Programa de Estabilização Económica e Social
PDML - Plano Diretor Municipal de Lisboa
PNAEE - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER - Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima
POR - Programas Operacionais Regionais
PUNHACC - Plano de Urbanização do Núcleo Histórico de Alfama e da Colina do Castelo
RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
RJRU - Regime Jurídico da Reabilitação Urbana
REH – Regulamento de Edifícios de Habitação
RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
SCE - Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SUSHI - *Sustainable Historic City Districts*
UE - União Europeia
UE-28 – Alemanha, Hungria, Áustria, Irlanda, Bélgica, Itália, Bulgária, Letónia, Chipre, Lituânia, Croácia, Luxemburgo, Dinamarca, Malta, Eslováquia, Holanda, Eslovénia, Polónia, Espanha, Portugal, Estónia, Reino Unido, Finlândia, República Checa, França, Roménia, Grécia e Suécia

Tep - Tonelada equivalente de petróleo
Ktep - Mil toneladas equivalente de petróleo
KWh - Kilowatt-hora
€ - Euro
m² - Metro ao quadrado
K - Kelvin
°C - Graus Celcius

1. Introdução

1.1. Enquadramento e motivação

O consumo de energia está no centro do desenvolvimento económico, no entanto os graves impactos do consumo de recursos e emissões de gases com efeito de estufa, justificam a importância e urgência da sua redução em todas as atividades económicas. O setor residencial tem um papel fundamental para alcançar reduções de emissões de dióxido de carbono, pois possui um importante potencial de eficiência energética e o seu impacto ambiental é difícil de deslocar para outros países (Gouveia & Palma, 2019).

O consumo de energia em edifícios residenciais representa uma parte significativa do consumo de energia nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), correspondendo a aproximadamente 40% da energia primária total nos EUA e na Europa e 30% na China (Bandeiras *et al.*, 2019). Entre os países da União Europeia a 28 (UE-28), o consumo de energia em edifícios residenciais é muito distinto, e.g. 15% em Luxemburgo e 35% na Croácia (PORDATA, 2017). Ao considerar a importância do aquecimento de espaços nos edifícios residenciais, o consumo de energia final apresenta também uma grande diversidade, variando significativamente entre os diversos Estados-Membros, de 22% (em Portugal) a 83% (na Dinamarca) em 2016 (Odyssee-Mure, 2018).

Durante o Conselho Europeu realizado em 2014, determinaram-se as políticas climáticas e energéticas a ser realizadas até 2030. Os objetivos chave que devem ser implementados até 2030 referem-se a uma redução de pelo menos 40% nas emissões de gases de efeito estufa, implementação de pelos menos 32% de energias renováveis e, por fim, uma melhoria de 32,5% da eficiência energética (Comissão Europeia, 2019).

Portugal demonstra um elevado grau de ambição e determinação para estar na vanguarda da transição energética por via de uma aposta forte nas energias renováveis e na eficiência energética. Desta forma, a estimativa de consumo de energia primária até 2030 permitirá concretizar o cumprimento da meta de redução do consumo de energia até 35%, constituindo um contributo indicativo de Portugal em matéria de eficiência

energética para o cumprimento da meta de 32,5% de eficiência energética da União Europeia em 2030 (Comissão Europeia, 2019).

Ao nível dos edifícios, Portugal tem vindo a promover medidas de reabilitação para tornar os edifícios mais eficientes com o intuito de reduzir a fatura energética e melhorar o nível do conforto, razão pela qual a renovação energética dos edifícios ganha particular relevância e prioridade. Segundo o inquérito anual da União Europeia sobre Rendimento e Condições de Vida (Comissão Europeia, 2020a), 19,4% da população reportou incapacidade de manter a habitação adequadamente quente, sendo o quinto país europeu com maior percentagem de população afetada. Portugal apresentou a segunda maior percentagem de toda a União Europeia, com 35,7%, a reportar viver num alojamento não confortavelmente arrefecido no Verão (2012) apenas atrás da Bulgária, o que poderá indiciar vulnerabilidade da população às temperaturas mais elevadas no Verão, relacionada com a incapacidade de manter o conforto térmico adequado nas casas. 27% da população indica ter problemas de infiltrações, humidade e decomposição na habitação estando na segunda posição europeia. Segundo dados do Observatório da Energia (2020) cerca de 70% das habitações portuguesas atualmente certificadas têm baixa eficiência energéticas (C ou menos).

A cidade de Lisboa é composta por uma elevada percentagem de edifícios antigos que, segundo o INE (2011), 23% foram construídos antes de 1960. Apenas 13,5% dos edifícios existentes têm certificação energética entre A⁺ e B⁻ (ADENE, 2018). Com a análise destes indicadores identifica-se a grande vulnerabilidade e baixo desempenho energético do sector dos edifícios residenciais em Portugal, justificando a necessidade de avaliar o potencial de melhoria a diferentes escalas e tipos de edifício e identificar medidas de reabilitação.

1.2. Objetivos e Âmbito

Numa visão global, a ligação entre as metas de eficiência energética dos edifícios, a nível nacional e europeu, e o conforto térmico das habitações pode ser caracterizado como um compromisso entre o conforto e a saúde das populações atuais e a evolução dos objetivos das políticas de eficiência energética.

A nível nacional, os estudos sobre medidas de melhoria da eficiência energética dos edifícios são escassos e por esse motivo, um estudo atual dos edifícios vai levar a uma melhor compreensão das habitações e dos seus problemas térmicos e apoiar políticas

conducentes à melhoria do conforto térmico e redução do gasto energético. Esta dissertação tem como objetivo analisar o estado atual dos edifícios residenciais das freguesias incluídas no bairro de Alfama em Lisboa, ao nível do seu desempenho energético e conforto térmico. O estudo assenta nos seguintes objetivos específicos realizados para os edifícios residenciais nas freguesias em Alfama:

- I. Definição e mapeamento de tipologias representativas dos edifícios residenciais no bairro de Alfama (Lisboa) à escala da subsecção estatística.
- II. Análise e caracterização em detalhe das tipologias identificadas com recurso a certificados energéticos.
- III. Cálculo das necessidades atuais de energia para aquecimento e arrefecimento de espaços e identificação de opções de melhoria para diferentes componentes do edificado (janelas, paredes e coberturas).
- IV. Cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento de espaços em dois cenários de renovação energética, e estimativa dos custos de investimento das medidas de reabilitação.

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do projeto europeu “SUSHI-*Sustainable Historic City Districts*” (SUSHI, 2018-2020) e PAS2020: *Pan-European Approach on Sustainable Heritage: Regeneration by a Retrofitting Economy* (2020), ambos co-financiados pelo EIT Climate-KIC, sendo inovadora a nível nacional pois analisa em detalhe as necessidades energéticas e potencial de melhoria de conforto térmico dos edifícios residenciais num bairro histórico de Lisboa.

1.3. Organização da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos, que correspondem à estrutura principal do trabalho, um capítulo das referências bibliográficas e uma secção de anexos com informação complementar. A estrutura da dissertação é a seguinte:

Capítulo 1. Introdução e contextualização da temática em estudo e descrição dos objetivos principais e específicos do trabalho e da estrutura do mesmo.

Capítulo 2. É apresentada a revisão da literatura, onde é feita uma breve revisão de materiais associados aos principais objetivos deste trabalho. Dos temas apresentados destacam-se a energia e conforto térmico em edifícios residenciais, e enquadramento legislativo associado a eficiência energética e aquecimento e arrefecimento de espaços.

Capítulo 3. Neste capítulo é apresentada a metodologia geral usada nesta dissertação e que está dividida em 3 fases. A primeira fase consiste na análise detalhada dos critérios de caracterização para a identificação das tipologias representativa dos edifícios residenciais em Alfama. A segunda fase inclui uma análise detalhada de uma amostra de certificados energéticos e das envolventes de cada alojamento para caracterização das tipologias. Na terceira fase são calculados as necessidades totais de cada envolvente e os custos de investimento das medidas de melhoria aplicadas para as tipologias.

Capítulo 4. É realizada a discussão dos resultados obtidos por tipologia, por tipo de solução de renovação (janelas, cobertura e paredes). São analisados as necessidades totais de cada envolvente e os custos de investimento da implementação das medidas de reabilitação. É apresentada também uma análise espacial e mapeamento das necessidades e custos ao nível das subsecções estatísticas.

Capítulo 5. São apresentadas as principais conclusões retiradas da análise e discussão efetuadas. Estão identificadas também as principais limitações e problemas encontrados na realização deste trabalho, tendo sido avaliado o contributo deste trabalho para a área de estudo e discutida a importância dos resultados obtidos. São ainda perspectivadas potenciais oportunidades de melhoria e desenvolvimentos a efetuar em estudos futuros.

2. Revisão de Literatura

2.1. Consumo de energia nos edifícios na União Europeia

Segundo a Comissão Europeia (Eurostat, 2020), os edifícios são responsáveis por 27% do consumo total de energia final registada em 2018 na União Europeia (EU-28). Nesta percentagem estão representados edifícios de diferentes sectores, como o comércio e serviços, residencial ou industrial. Na UE, em 2018, o consumo do setor residencial correspondeu a uma percentagem de aproximadamente 27% do total de energia final consumida (Eurostat, 2020), como pode ser observado na Figura 2.1. Constituindo o setor com o segundo maior consumo, apenas inferior ao setor dos transportes, o que é demonstrativo do seu peso significativo.

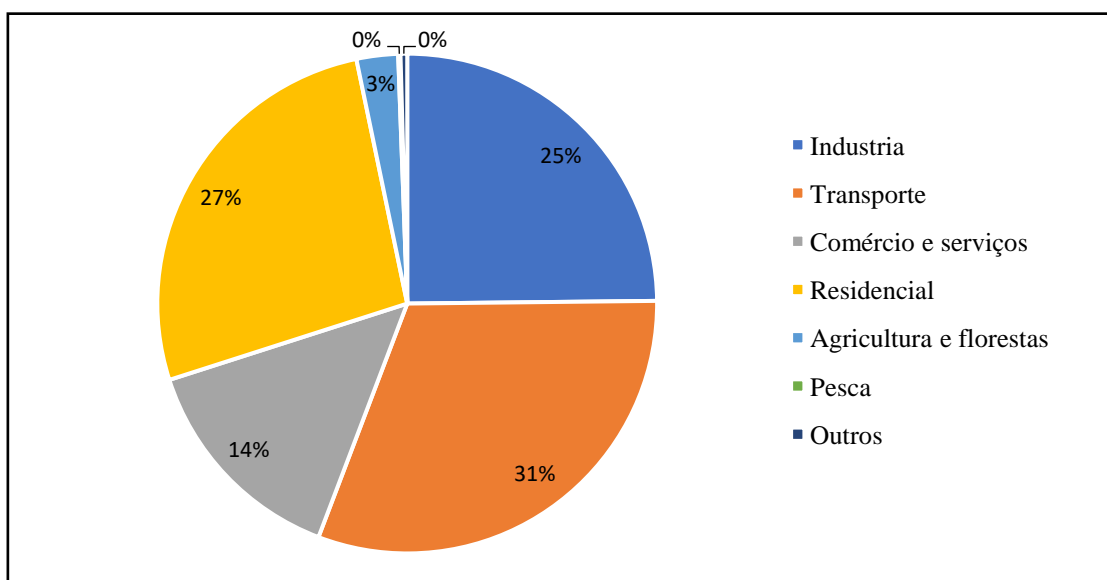


Figura 2. 1. Consumo de energia final por setor, UE-28, 2018 (Eurostat, 2020)

Analisando a evolução do consumo de energia desde o ano de 2010, ilustrada na Figura 2.2, verifica-se uma diminuição constante entre 2010 a 2014. A partir desse ano, surgiram variações no consumo de energia, com valores sempre inferiores ao registado em 2010. Este decréscimo, que se notou com o decorrer dos anos, é explicado pela implementação de medidas de eficiência energética e pela crise financeira e económica que afetou a Europa nos últimos anos (Eurostat, 2020).

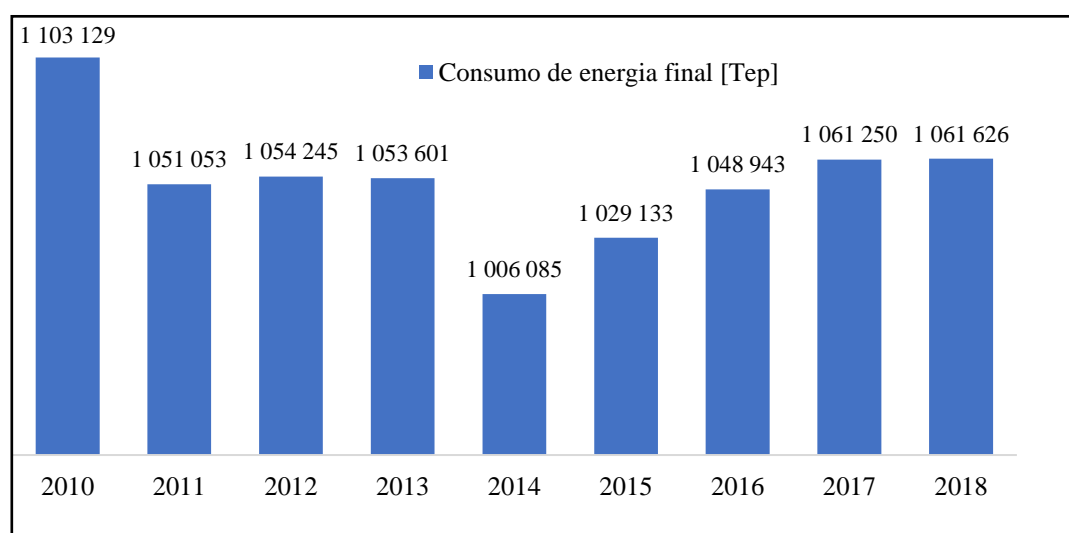


Figura 2. 2. Consumo de energia final por ano, UE-28, 2018 (Eurostat, 2020)

Relativamente à caracterização do consumo de energia final por combustível, verifica-se através da observação da Figura 2.3, que o gás natural constitui o principal combustível usado nos alojamentos (Eurostat, 2020). Se se analisar os dados da Eurostat, esta forma de energia correspondeu a cerca de 36% do consumo total de energia final do setor, em 2018. A segunda maior forma é a eletricidade, com 25% em 2018, mantendo relativamente o mesmo registo entre 2010 e 2018. O uso de combustíveis fósseis sólidos tem vindo a reduzir e o uso de energia renovável tem aumentado, acabando por ser a terceira maior fonte de consumo energético na Europa.

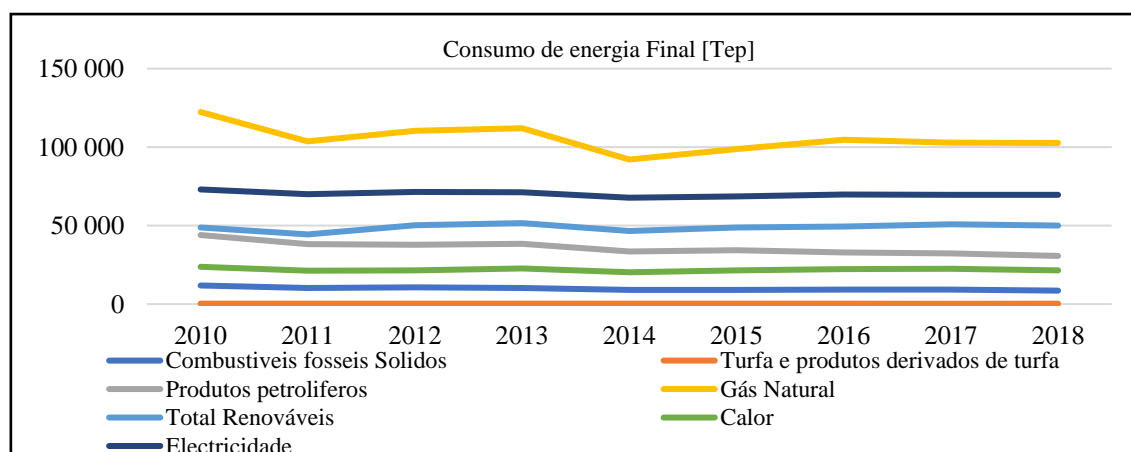


Figura 2.3. Evolução do consumo de energia final por combustível no setor residencial, UE-28 (Eurostat, 2020)

2.2. Consumo de energia nos edifícios em Portugal

Nos últimos dez anos, em Portugal, o setor da Indústria foi o que mais reduziu o consumo de energia, como representado na figura 2.4. No mesmo período, o setor dos Transportes reduziu a sua representação no consumo em apenas 1%. Em sentido oposto, o setor dos Serviços aumentou 3% na sua fração no consumo energético. Em 2019, os Transportes foram responsáveis por 36% do consumo final de energia, enquanto o sector residencial mostra o mesmo consumo energético de 17% registado em 2010 (DGEG, 2019).

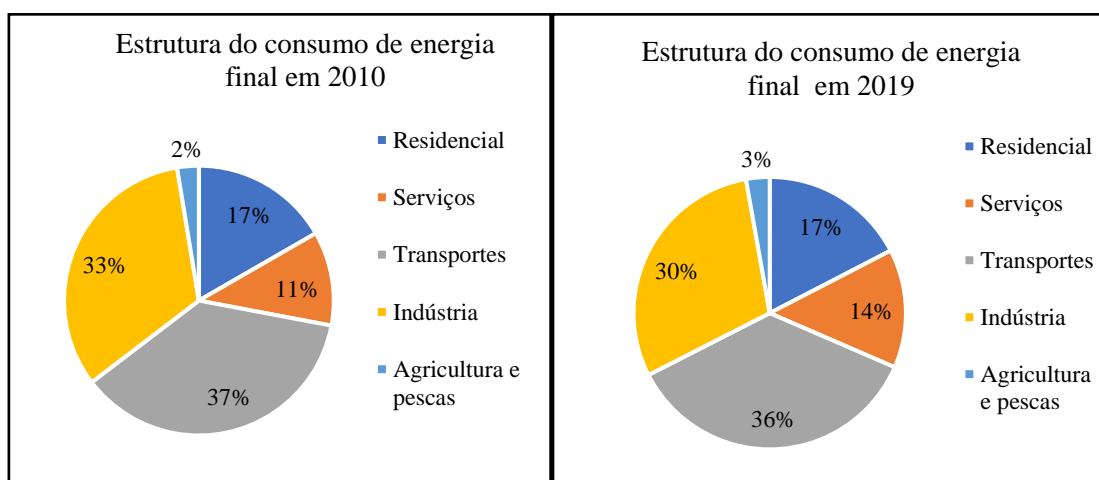


Figura 2. 4. Consumo de energia final em 2010 (esquerda) e em 2019 (direita), (DGEG, 2019)

Quanto ao consumo anual de energia final no setor residencial, registou-se uma alteração nos níveis de consumo entre 2010 e 2019. Em relação a 2010, notou-se um decréscimo do consumo devido a medidas e regulamentos de melhoria do desempenho energético e eficiência de edifícios, estabelecida em Portugal (Figura 2.5).

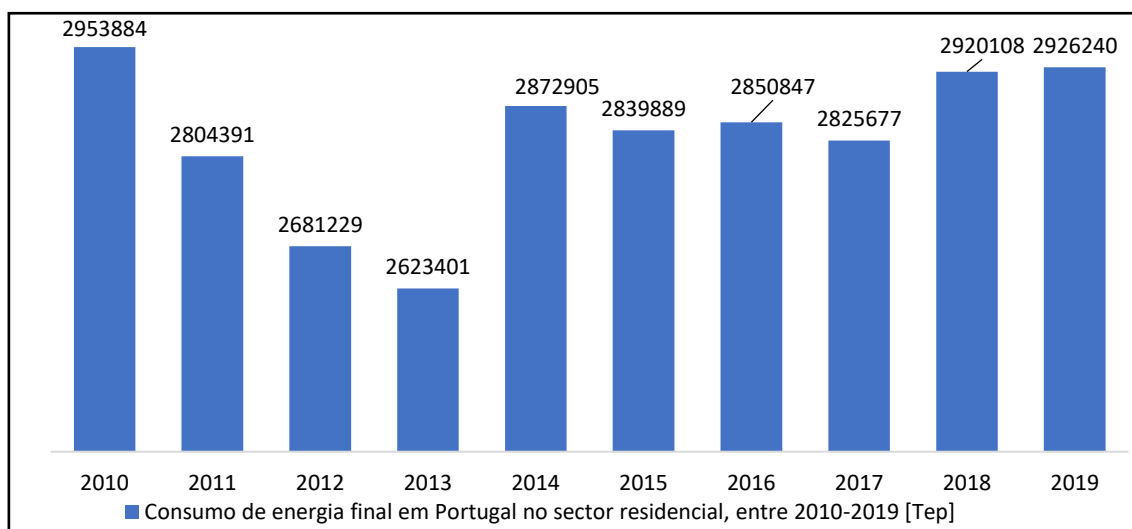


Figura 2.5. Consumo de energia final em Portugal no sector residencial entre 2010-2019 (DGEG, 2019)

2.3. Programas e planos com impacto no edificado

Atualmente, estão implementados vários planos e estratégias de atuação no sector residencial. Nesta secção são avaliados os planos que têm mais impacto e relevância neste estudo, ao nível europeu, nacional e local.

Na União Europeia destacou-se a diretiva 2018/844 (Parlamento Europeu e do Conselho, 2018) que inclui a reformulação de duas diretivas com papel importante no edificado: Diretiva 2010/31/EU, (EPBD, 2010) dá ênfase à mitigação do consumo de energia nos edifícios; Diretiva 2012/27/EU, (Parlamento Europeu e do Conselho, 2012) relativa ao desempenho energético dos edifícios. O aquecimento e o arrefecimento, constituindo dois usos de energia intrinsecamente relacionados com os edifícios, e cujo consumo representa uma fração significativa do consumo total dos edifícios, são alvo das alterações promovidas por estes atos legislativos. Ambas as Diretivas incluem medidas para promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da União Europeia, tendo em conta as condições climáticas do exterior e condições locais, bem como requisitos de temperatura no interior dos edifícios e o seu desempenho. Neste sentido, a Diretiva 2012/27/EU define uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e das frações autónomas. Estabelece requisitos mínimos para o desempenho energético de edifícios novos e frações autónomas novas, de edifícios existentes, de frações autónomas e componentes de edifícios sujeitos a grandes renovações, e de elementos construtivos da envolvente de edifícios e sistemas técnicos, quando forem renovados ou substituídos. A diretiva define também metas mínimas para os planos nacionais, no sentido de aumentar o número de edifícios “*Nearly Zero Energy*”, ou seja, edifícios com necessidades quase nulas de energia – onde todos os novos edifícios devem ser “*Net Zero Energy*” a partir de 31 de dezembro de 2020. Posteriormente todos os planos construídos foram transportados para o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 que estabelece requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do desempenho energético

Em Portugal, a diretiva 2012/27/EU resultou na reformulação do antigo regulamento do desempenho energético dos edifícios que estava em vigor, o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/EU, (Ministério da Economia e da Inovação, 2006) que por sua vez foi transposta para o ordenamento jurídico nacional através do Decreto-Lei n.º 78/2006 (Ministério Da Economia E Da Inovação, 2006). Esta reformulação foi transposta para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 118/2013, que deu origem a Regulamento

de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), bem como o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)(Parlamento Europeu, 2013).

No que diz respeito à eficiência energética, a Diretiva 2012/27/EU estabelece, no âmbito geral, um quadro comum de medidas que favorecem a eficiência energética da União Europeia, com o propósito de atingir a meta de 20% de eficiência energética em 2020 e seguir no rumo do cumprimento das metas de longo prazo. Atua de forma a eliminar os obstáculos e ultrapassar deficiências no mercado da energia, que impedem a eficiência no aprovisionamento e utilização de energia. Estabelece requisitos mínimos para se atingir o objetivo de eficiência energética. Em Portugal, esta diretiva resultou, como esperado, no desenvolvimento da “*Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios - ELPRE*” (República Portuguesa, 2020). A ELPRE promove o aumento da eficiência energética e consequentemente da qualidade do parque edificado, através da intervenção e renovação dos edifícios, e não somente através da nova construção.

Esta dissertação suporta-se em várias diretivas, planos e estratégias que foram implementados ao nível europeu e depois transpostos para o nível nacional com o objetivo de tornar um edifício mais eficiente e sustentável, incluindo o fator conforto.

2.3.1. Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

Portugal foi um dos países que se comprometeu internacionalmente a reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa por forma a que o balanço entre emissões e as remoções da atmosfera seja nulo até 2050 (APA, 2018). O principal objetivo do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) foi a identificação e análise das implicações associadas a trajetórias alternativas, economicamente viáveis e aceites pela sociedade e que permitam atingir o objetivo da neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050. A descarbonização profunda da economia exige a intervenção de vários agentes com vista à análise e discussão das opções e estratégias de mitigação e à definição de planos de baixo carbono para a economia nacional. Os sectores principais que contribuem para a neutralidade carbónica são os resíduos, agricultura, transportes, edifícios, indústria e energia. A figura 2.6 representa a percentagem de descarbonização para cada sector. Os sectores identificados com potencial de redução de emissões mais

acentuado foram os transportes e a produção de energia, seguidos dos edifícios e indústria (APA, 2018).

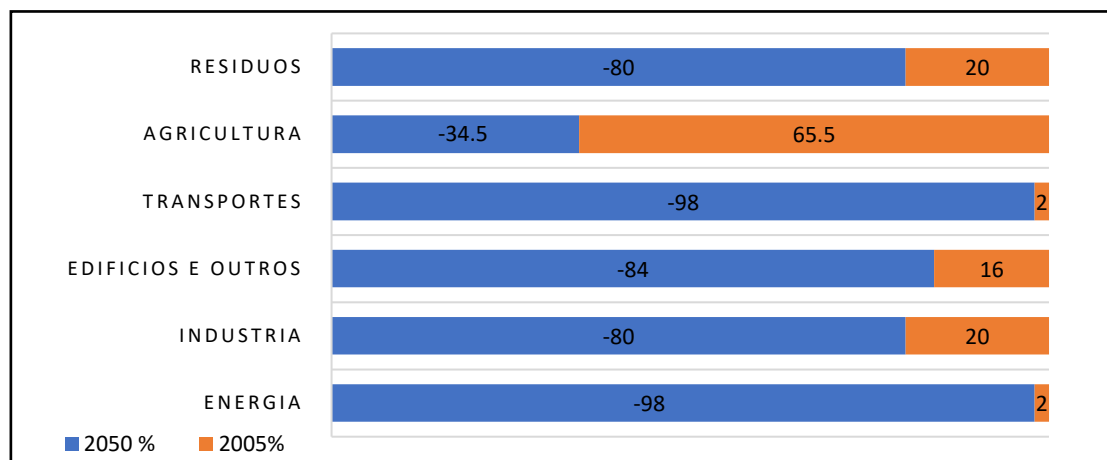


Figura 2.6. Contribuição da redução d emissões dos vários setores económicos para a neutralidade carbónica
Adaptado de (APA, 2018)

A tabela 2.1 apresenta os consumos de energia e a redução dos gases de efeito estufa até 2050 nos dois cenários principais (Pelotão e Camisola Amarela) com diferentes níveis de ambição.

Tabela 2.1. Consumo de energia e redução dos gases de efeito estufa no sector residencial para os cenários Pelotão/Camisola Amarela (APA, 2018)

Ano	2020	2030	2040	2050
Eletrificação (%)	41	44	59/58	81/74
Consumo de energia final (PJ)	113	107/109	101/105	86/90
Redução de GEE (%)	-11/-45	-29/-61	-74/-100	-96/-100

Apesar do aumento expectável da procura por serviços de arrefecimento de espaços, devido ao aumento das temperaturas médias e expectativas de maior conforto térmico, o sector residencial demonstra ainda assim um elevado potencial de redução de emissões. Estimam-se assim reduções de emissões no setor residencial de -97% e -96% e de 100% no setor dos serviços (face a 2005), em 2050, passando a incorporação de energias renováveis no aquecimento e arrefecimento a ser de 66% e 68%.

No setor residencial e de serviços prevê-se um reforço do conforto térmico nos edifícios tanto no aquecimento como no arrefecimento. Este aumento de conforto surge pela contínua ação de eletrificação pela utilização de equipamentos mais eficientes, pelo uso acrescido de materiais de isolamento e por maiores taxas de reabilitação urbana.

Estima-se que as medidas de isolamento possam reduzir o consumo de energia para aquecimento em 26% em 2040, e cerca de 50% em 2050 no setor residencial.

2.3.2. Plano Nacional de Energia e Clima 2030

O PNEC é uma obrigação dos Estados-Membros da União Europeia e estabelece os contributos nacionais e as políticas e medidas nacionais para o cumprimento dos diferentes compromissos globais da UE, incluindo a redução de emissões de gases com efeito de estufa, as contribuições das energias renováveis, a eficiência energética e as interligações com a rede elétrica em Espanha e Europa (Portal do Governo, 2020).

A Diretiva da Eficiência Energética (EED), Decreto-Lei 101/2017/EU, estabelece como objetivo um limite máximo para o consumo de Energia Primária ou Final, onde não se teve em consideração planos de eficiência energética e cujo ano de referência é 2005, equivalente a uma redução de 32,5%, através da implementação das medidas que promovem eficiência energética. Da mesma forma que Portugal demonstra determinação para estar na vanguarda da transição energética por via de uma aposta forte nas energias renováveis, também a eficiência energética assume um papel de relevo para o horizonte 2030 (Comissão Europeia, 2019). A tabela 2.2 demonstra a estimativa de consumo de energia primária no horizonte 2030 no qual foi escolhida a nível nacional uma meta de redução do consumo de energia de 35%, face às projeções do Cenário de Referência da UE de 2007, constituindo este o contributo indicativo de Portugal em matéria de eficiência energética para o cumprimento da meta de 32,5% de eficiência energética da UE em 2030.

Tabela 2.2. Meta de redução do consumo de energia primária para 2020 e 2030 em Portugal (Comissão Europeia, 2019)

Ano	2020	2030
Meta de redução do consumo de energia primária	25%	35%

O contributo, em termos absolutos, de consumo de energia primária e de energia final em 2020 e em 2030 é apresentado na tabela 2.3. Em ambas se nota uma redução acentuada para os dois períodos (Comissão Europeia, 2019).

Tabela 2.3. Consumo de energia primária e de energia final em 2020 e em 2030 (Comissão Europeia, 2019)

Consumo (ktep)	2020	2030
Consumo de Energia Primária	22,6 – 19,6	21,5 – 15,6
Consumo de Energia Final	15,4 – 15,6	14,4 – 14,9

2.3.3. Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios

Quase dois terços do parque nacional de edifícios em Portugal foram construído antes da introdução em 1990 de requisitos de eficiência energética para edifícios novos (Decreto-Lei n.º 40/90, de 2 de junho, entretanto revogado), o que se reflete, em muitos casos, em elevadas necessidades energéticas e mesmo em situações de pobreza energética com impacto no conforto térmico e na saúde dos ocupantes. O parque edificado português é um parque envelhecido, em particular no setor residencial.

Do conjunto de problemas que afetam o desempenho energético dos edifícios nacionais, para além do envelhecimento natural dos materiais e da falta de manutenção, é possível destacar as características físicas do edifício, sobretudo ao nível do baixo desempenho térmico da envolvente e a ineficiência dos sistemas energéticos instalados. Neste contexto, para que Portugal atinja os objetivos em matéria de energia e clima a que se propõe no âmbito do PNEC 2030 (Comissão Europeia, 2019) e do RNC2050 (APA, 2018), é importante uma profunda renovação energética do parque edificado existente.

A reabilitação dos edifícios vai potenciar alcançar vários objetivos, como a redução da fatura e dependência energética, conforto e melhor qualidade do ar no interior das habitações, redução da pobreza energética e produtividade laboral. Este processo promove o uso de fontes renováveis.

A Estratégia Portuguesa de longo prazo para a renovação dos edifícios (ELPRE) (República Portuguesa, 2020), visa dar uma resposta efetiva a esta situação referente na Diretiva EPBD (Parlamento Europeu e do Conselho, 2018), relativa ao desempenho energético dos edifícios no qual pretende-se que a presente estratégia facilite o acesso a mecanismos através de financiamento inteligente, para apoiar a mobilização de

investimentos para alcançar um parque imobiliário descarbonizado e de elevada eficiência energética até 2050 e tornar os edifícios mais rentáveis e com necessidades quase nulas de energia. A ELPRE estabelece um guia de medidas de melhoria, indicadores de progresso e metas a serem consideradas para 2030, 2040, 2050 (Parlamento Europeu, 2020).

Na ELPRE analisam-se ainda políticas de apoio e ações integradas necessárias para se concretizar uma trajetória clara para alcançar a modernização do ambiente construído, apoiada por um roteiro nacional com metas indicativas e indicadores do progresso. O programa de reabilitação dos edifícios incluído na ELPRE é constituído por um conjunto de políticas e ações em linha com os objetivos estratégicos definidos pela diretiva EPBD. A figura 2.7 mostra as políticas a serem implementadas no programa de edifícios.

2.3.4. Plano Diretor Municipal de Lisboa

O Plano Diretor Municipal de Lisboa (PDML) de 2012 contém vários planos estratégicos e normativos que consagram as linhas de desenvolvimento urbanístico do município de Lisboa. Nele estão vertidos o modelo de cidade que se pretende para Lisboa, a estratégia a prosseguir e os objetivos urbanísticos a concretizar nos próximos dez anos (Lisboa, 2012).

O PDML reviu o plano original implementado em 1994 (Lisboa, 1997) e sofreu alterações evidentes nos vários sectores. Corresponde a um quadro de referência estratégica com objetivos bem definidos, um guião que integra mecanismos de flexibilidade para que, de uma monitorização permanente, nasçam ajustamentos que acolham novas oportunidades e corrijam erros ou debilidades. E é ao mesmo tempo um quadro normativo preciso, que salvaguarda os direitos dos cidadãos. O novo PDML pretende criar uma cidade sustentável nas suas dimensões social, económica e ambiental, mais resiliente às catástrofes naturais, uma cidade amigável e de oportunidades.

O PDML estabelece ainda as grandes estratégias de desenvolvimento, as orientações e as políticas urbanísticas para o território municipal, define a programação da respetiva execução e as regras para a contratualização com os vários atores que intervêm no território, para responder aos objetivos dos quais se destacam os seguintes: Recuperar, rejuvenescer e equilibrar socialmente a população de Lisboa; Promover a reabilitação e a regeneração urbana, alargando o conceito de área histórica a toda a Cidade

consolidada como forma de defesa e valorização do seu património histórico, cultural e paisagístico; Tornar Lisboa uma cidade amigável, segura e inclusiva; Promover uma cidade ambientalmente sustentável e eficiente na forma como utiliza os recursos, incentivando a utilização de recursos renováveis, uma correta gestão de resíduos, a agricultura urbana e a continuidade dos sistemas naturais e aumentando a resiliência urbana; Promover uma cidade inovadora e criativa, capaz de competir num contexto global e gerar riqueza e emprego; Afirmar a identidade de Lisboa num mundo globalizado; Criar um modelo participado de governo eficiente e financeiramente sustentável (Lisboa, 2012).

2.3.5. Plano de Urbanização do núcleo Histórico de Alfama e Colina do Castelo

O primeiro Plano de Urbanização do Núcleo Histórico de Alfama e da Colina do Castelo (PUNHACC) foi aprovado pela Assembleia Municipal de 1996. No entanto, com o decorrer dos anos vêm revelando, pelo Núcleo Histórico de Alfama e Colina do Castelo, várias incoerências relativamente aos objetivos que se pretendiam realizar e à evolução da dinâmica urbana, social e económica registada. Notam-se várias discrepâncias quanto ao sector residencial, à proteção do parque edificado e degradação de malhas históricas. Por esta razão, foi proposta a alteração do Plano de Urbanização do Núcleo Histórico de Alfama e da Colina do Castelo, em 2013, (Município de Lisboa, 2013) e que posteriormente foi aprovada em 2014 e publicou alterações em vários sectores. Um dos sectores mais importantes para este estudo diz respeito a alterações nos projetos urbanos que se denominam de Planos de Pormenor de Reabilitação Urbana que foram implementados no bairro de Alfama, Castelo e Mouraria (C.M. de Lisboa, 2010).

2.3.6. Planos de Pormenor de Reabilitação Urbana para Alfama, Castelo e Mouraria

Este projeto urbano foi redigido em 2010 e está associado ao PDM, publicado em 1994, e interage com PUNHACC (Município de Lisboa, 2013). Este plano foi criado inicialmente para melhorar a dinâmica urbana e revitalizar a colina do Castelo, de Alfama e da Mouraria. Também pretende harmonizar e as medidas com PDM em vigor e enquadrar a nova legislação imposta pelo Regime Jurídico da Reabilitação Urbana (RJRU), redigido no Decreto-Lei n.º 307/2009, de 23 de outubro. Este plano pretende

também clarificar as regras referentes as atividades económicas relativas á restauração e diversão noturna. Referente ao bairro de Alfama, os objetivos principais consistem em preservar o ambiente e salvaguardar o património edificado, reforçar a vocação residencial da área e incentivar a reabilitação com a defesa do património e a sustentabilidade ambiental.

2.3.7. Regulamento Municipal do Alojamento Local

A recente alteração legislativa do regime de autorização da exploração dos estabelecimentos de alojamento local (AL), aprovada pela Lei n.º 62/2018, de 22 de agosto, veio atribuir novas competências aos órgãos municipais, nomeadamente, o poder de regular a instalação de novos estabelecimentos de AL com vista a preservar a realidade social dos bairros e lugares. Ao crescimento do turismo na cidade de Lisboa, a que temos assistido nos últimos anos, junta-se um conjunto alargado de fatores, entre eles, a significativa subida dos preços da habitação por efeito de um prolongado período de baixas taxas de juro. Esta crescente procura imobiliária determinou uma subida acentuada das rendas e a precariedade do alojamento, tornando necessária a implementação de um conjunto de políticas públicas urbanísticas, com vista, nomeadamente, a defender a habitação permanente, protegendo a identidade dos bairros da gentrificação e favorecendo o arrendamento acessível. A salvaguarda do interesse público e o equilibrado desenvolvimento da economia no sector do turismo impõe a definição de regras pelo município que clarifiquem os direitos e os deveres dos atores envolvidos, designadamente a adoção de medidas proporcionais que possam ser uma salvaguarda do direito fundamental à habitação, sem, contudo, colocar em causa os livres requisitos de acesso ao mercado (Aljustrel & Brito, 2011).

Para a execução destes objetivos já foram tomadas decisões quanto ao aumento da oferta de habitação municipal no Centro Histórico, no âmbito do Programa de arrendamento Acessível (PAA, 2020) ou do Programa Habitar o Centro Histórico (M. do Ambiente, n.d.). O novo regime legal do alojamento local estabelece, a implementação de áreas de contenção, fixando regras para a instalação de estabelecimentos de alojamento local e impondo limites ao número de estabelecimentos que se admitem naqueles territórios (Aljustrel & Brito, 2011).

2.4. Financiamento para Renovação dos Edifícios

Com o objetivo de reduzir o consumo primário no sector residencial, foi criado um instrumento financeiro, com objetivos de política pública em matéria de reabilitação urbana e de forma conjugada de eficiência energética, que pudesse dar resposta a todos os interessados que pretendem investir e que não encontram financiamento no mercado para o seu projeto (IFRRU, 2020). Esta secção apresenta programas para apoiar várias políticas de reabilitação do setor residencial.

2.4.1. Fundo Ambiental

O Fundo Ambiental tem por finalidade apoiar políticas ambientais para a prossecução dos objetivos do desenvolvimento sustentável, contribuindo para o cumprimento dos objetivos e compromissos nacionais e internacionais, designadamente os relativos às alterações climáticas, aos recursos hídricos, aos resíduos e à conservação da natureza e biodiversidade (Ministério do Ambiente, 2020).

O Programa de Estabilização Económica e Social (PEES, 2020) estabelece, entre outras, um conjunto de medidas de dinamização económica do emprego, através do lançamento de pequenas obras, de execução célere e disseminada pelo território, que possam absorver algum do impacto da crise económica provocada pela pandemia causada pela doença COVID-19. Esta iniciativa, designada “Edifícios mais Sustentáveis”, encontra-se prevista no referido Programa (Ministério do Ambiente, 2020).

O PEES dá apoio a medidas que promovam a descarbonização, a eficiência energética, a eficiência hídrica e a economia circular em edifícios, contribuindo para a melhoria do desempenho energético e ambiental dos edifícios (Ministério do Ambiente, 2020).

2.4.2. Instrumento financeiro de reabilitação e revitalização urbana (IFRRU)

O Instrumento financeiro de reabilitação e revitalização urbana (IFRRU, 2020) consiste num instrumento financeiro que implementa as dotações aprovadas pelos Programas Operacionais Regionais (POR) e do programa temático Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (SEUR, 2020), do PORTUGAL 2020 (Comissão Europeia, 2020b), com os objetivos de revitalizar as cidades, apoiar a revitalização física do espaço dedicado a comunidades desfavorecidas e apoiar a eficiência energética na habitação.

O Instrumento Financeiro de Reabilitação e Revitalização Urbana (IFRRU) 2020 é uma alavanca para a sustentabilidade das cidades e para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, criando novas oportunidades de desenvolvimento económico e social nos centros urbanos (IFRRU, 2020).

2.4.3. Programa Casa Eficiente

O Programa “Casa Eficiente 2020” visa conceder empréstimo em condições favoráveis a operações que promovam a melhoria do desempenho ambiental dos edifícios de habitação particular, com especial enfoque na eficiência energética e hídrica, bem como na gestão dos resíduos urbanos. As intervenções poderão incidir no envelope do edifício e nos seus sistemas (CPCI, 2020).

O Programa é promovido pelo Estado Português e dinamizado pela CPCI – Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário. A sua execução conta com o apoio técnico da APA - Agência Portuguesa do Ambiente, da EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres e da ADENE – Agência para a Energia (CPCI, 2020).

2.5. Estudos sobre a eficiência energética de edifícios em Portugal

Esta dissertação analisa os edifícios quanto ao seu desempenho e conforto térmico localizados num bairro histórico de Lisboa. Com este estudo são definidas tipologias para os edifícios, calculadas as necessidades energéticas e avaliadas quanto ao seu potencial e custos de renovação. No entanto, a metodologia segue abordagens de outros estudos como Gouveia *et al.* (2015), Palma (2017), Reis (2019) a diferentes escalas e/ou para outros setores económicos.

Em Palma (2017), foi calculado o conforto térmico nos alojamentos residenciais de todas as freguesias de Portugal continental com recurso a uma metodologia que permite o cálculo das necessidades de climatização para obtenção de conforto térmico e à criação de tipologias de edifícios específicas para as regiões do país. Foi também efetuada uma análise de sensibilidade, através de dois cenários, a parâmetros determinantes das necessidades energéticas, nomeadamente a área climatizada e duração de climatização. Os resultados foram mapeados utilizando o software *QGIS* (Palma, 2017).

O estudo realizado por (Reis, 2019) teve com objetivo principal caracterizar edifícios de comércio e serviços da administração local certificados energeticamente, pelas diferentes tipologias representativas definidas, através da informação disponível nos certificados energéticos. Este estudo torna-se relevante, uma vez que a obtenção de informações básicas obtidas pelos certificados energéticos destes edifícios, como as áreas que ocupam, as soluções construtivas que apresentam, os sistemas técnicos que possuem, assim como dados relativos aos seus desempenhos e necessidades energéticas, são essenciais para a caracterização tipológica de edifícios e criar as bases para a implementação de medidas de eficiência energética (Reis, 2019). A finalidade deste estudo consistiu em identificar os edifícios que necessitam de intervenção para o melhoramento energético e identificar os problemas mais relevantes na obtenção dos dados durante a realização da certificação energética.

Para esta dissertação, a investigação realizada por Gouveia (2017), é muito importante porque aprofundou os consumos energéticos do setor residencial no qual foram analisados os padrões de consumo de energia em habitações, o conforto térmico e os níveis de satisfação dos serviços energéticos. Este estudo apresenta uma elevada relevância pois faz a análise num país que potencialmente será muito afetado pelas alterações climáticas, com baixos níveis de rendimento e consumo de energia *per capita* (Gouveia, 2017). Esta dissertação avança o conhecimento na compreensão dos padrões de consumo de energia em habitações, o papel dos consumidores nos perfis de consumo elétrico, o conforto térmico e os níveis de satisfação da procura de serviços energéticos. Num país que potencialmente será muito afetado pelas alterações climáticas, com baixos níveis de rendimento e consumo de energia *per capita*, significativamente inferior à média da UE28, a análise destas questões ganha ainda mais relevância. O trabalho combina análise detalhada em diferentes escalas espaciais (Gouveia, 2017).

Mais direcionado para as medidas de eficiência energética, o projeto realizado por Carapeto (2016), consistiu na identificação e avaliação de medidas de reabilitação energética que possam ser implementadas em edifícios residenciais em várias envolventes do edificado localizado em Portugal. O resultado da avaliação das medidas identificadas tinha como objetivo permitir apoiar os decisores políticos na seleção das medidas com maior potencial de implementação e que poderão ser alvo de apoio e/ou financiamento público (Carapeto, 2016)

As teses de Borges (2009) e Gonçalves (2015) estudam a eficiência energética de edifícios existentes. Borges (2009) foca-se na implementação de certificações energéticas de edifícios existentes, que estejam no âmbito do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Gonçalves (2015) tem uma ligação forte com o tema desta tese porque ambas estudam a eficiência energética de um edifício histórico e procuram soluções energéticas

Nesta dissertação é realizado um estudo de eficiência energética de edifícios num caso de estudo específico, tal como Andrade, (2012) que procura caracterizar o estado atual da eficiência energética em Portugal, tendo como suporte a análise da dependência energética, a estratégia nacional delineada para a energia e a transposição de Diretivas Europeias para a legislação nacional e a sua aplicação. Também Graça (2011) usa o concelho de Almada como caso de estudo para analisar os edifícios de serviços e realiza um inquérito como complemento.

3. Metodologia

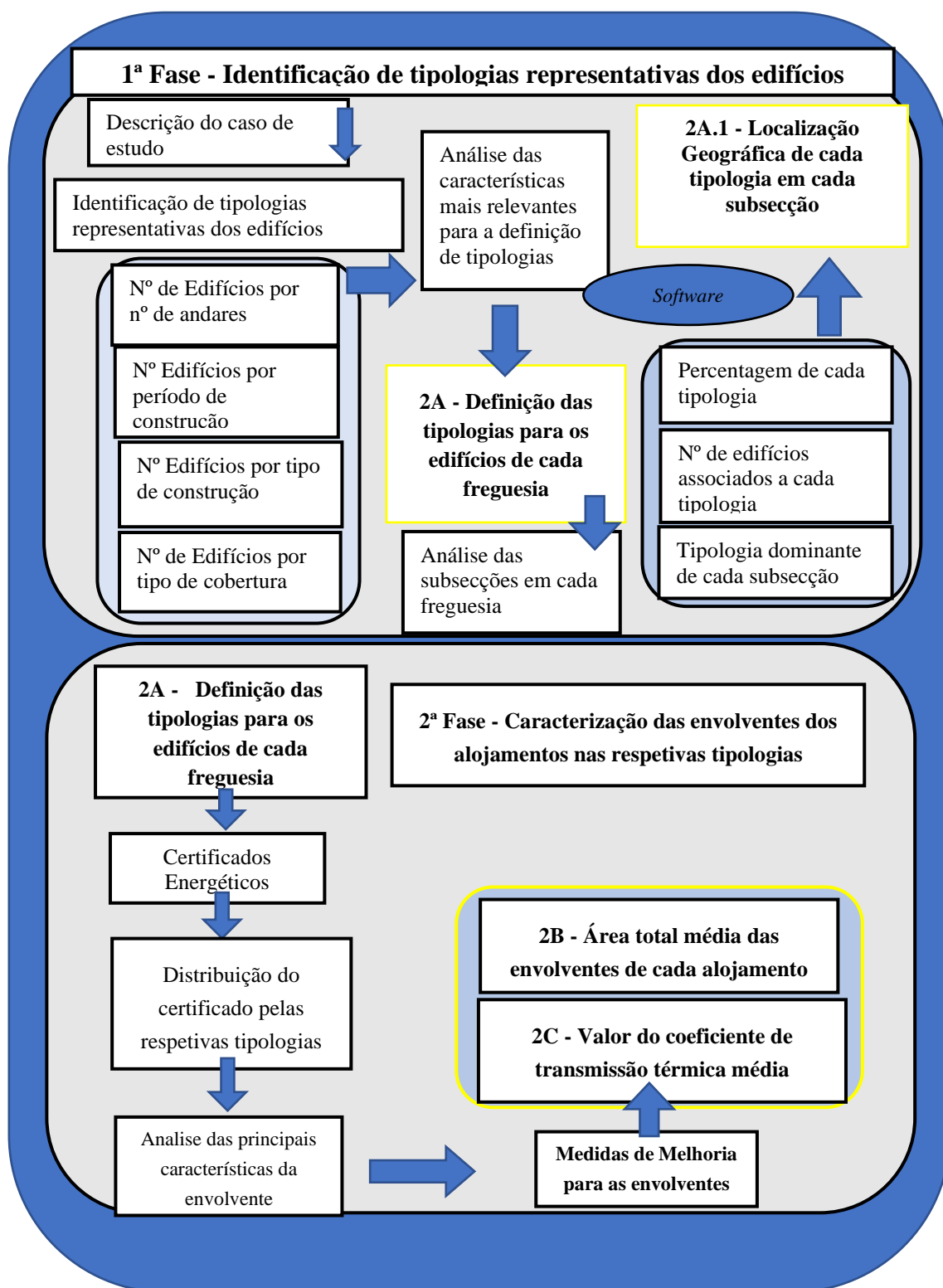
A metodologia utilizada nesta dissertação foi desenhada para avaliar a eficiência energética dos edifícios das habitações no bairro histórico de Alfama, tendo por base a estimativa das necessidades finais de aquecimento e arrefecimento de espaços. O cálculo do impacto e respetivo custo de investimento da aplicação das medidas de melhoria da eficiência energética associadas ao conforto térmico das habitações, foi desenvolvido em três fases.

A primeira fase teve como objetivo a definição das principais tipologias representativas de edifícios residenciais em Alfama. Para isso, recorreu-se a várias características dos edifícios, disponíveis no CENSOS 2011 (INE, 2011), como período de construção, tipo de construção, número de andares e variedade de cobertura para as freguesias incluídas no bairro Alfama, bem como a sua relevância para a definição final das tipologias com base na sua representatividade. De forma complementar, as tipologias foram mapeadas para cada subsecção estatística com recurso ao software QGIS, quanto ao número de edifícios em cada tipologia e identificando também a tipologia dominante em cada subsecção. Esta fase envolveu o tratamento da informação estatística em folhas de cálculo e recurso a uma ferramenta de informação geográfica.

Na segunda fase, recorreu-se a informação detalhada de certificados energéticos (ADENE, 2018) para caracterização das tipologias de edifícios residenciais identificadas na fase anterior. Com base nas características principais de cada tipologia, associou-se cada certificado energético a uma tipologia específica. Em cada certificado analisou-se as envolventes das habitações (janelas, paredes e cobertura) correspondente a cada tipologia, e registou-se parâmetros de interesse como a área total da envolvente, tipo de elemento e o coeficiente de transmissão térmica. Após a análise de todos os certificados associados a cada tipologia para cada envolvente, foram calculados os coeficientes de transmissão

térmica médios e a área total média das envolventes para posteriormente serem calculadas as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento.

A terceira fase consistiu no cálculo das necessidades finais de aquecimento e arrefecimento do espaço e o custo de investimento das medidas de reabilitação aplicadas nas envolventes. Este processo foi realizado igualmente para as subsecções de cada freguesia. Das diferentes possibilidades, foram testados dois cenários de melhoria para cada uma das componentes construtivas: um referente à solução que permitisse um melhor desempenho energético e outro relativo à medida com menor custo de investimento. Ambos têm como objetivo avaliar o potencial de redução máximo das necessidades, e analisar a solução energética incluindo o respetivo investimento. Foi realizado o mapeamento dos impactos estimados em termos de melhoria do desempenho energético e respetivos custos ao nível das subsecções estatísticas localizadas em Alfama. A figura 3.1 mostra o esquema que ilustra a metodologia dotada nesta dissertação.



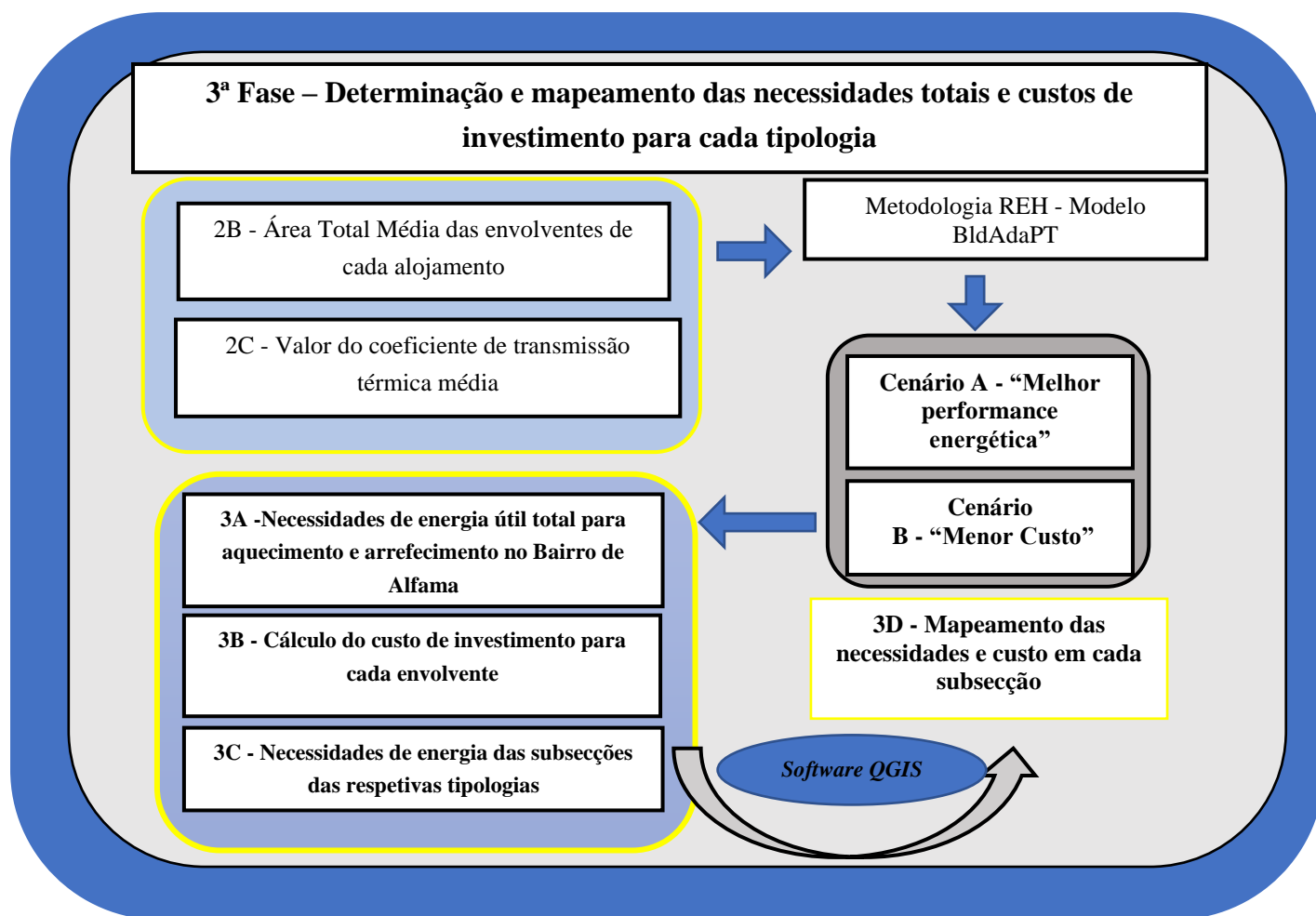


Figura 3. 1. Esquema da metodologia geral da dissertação

3.1. Caso de estudo

Lisboa é a capital e a maior cidade de Portugal com uma população estimada de 505 526 pessoas dentro dos seus limites administrativos e com uma área de 100,1 km². A área urbana de Lisboa estende-se além dos limites administrativos da cidade com uma população de cerca de 2,8 milhões de pessoas, sendo a 11ª área urbana mais populosa da União Europeia. Cerca de 3 milhões de pessoas vivem na área metropolitana de Lisboa, incluindo a Riviera Portuguesa, que representa cerca de 27% da população do país. É a capital mais ocidental da Europa continental e a única ao longo da costa atlântica. Lisboa fica no oeste da Península Ibérica, banhada pelo Oceano Atlântico e rio Tejo.

Pertencendo ao concelho de Lisboa, o bairro de Alfama é um dos distritos mais antigos do concelho. Assemelhando-se a uma típica cidade medieval árabe, Alfama é conhecida pela sua morfologia devido às ruas estreitas de labirinto, sendo uma das poucas

áreas da cidade que sobreviveram ao terramoto de 1755. Alfama é um dos principais pontos turísticos da cidade e localiza-se entre a encosta do Castelo de São Jorge e a beira do rio Tejo. Por esse motivo, a vida de Alfama sempre esteve fortemente relacionada às atividades portuárias e fluviais. Atualmente Alfama reflete-se bem no envelhecimento da população que permanece no bairro, mantendo ativos estabelecimentos comerciais, como tascas, pequenos restaurantes e casas de fado (SUSHI, 2020).

Atualmente, o bairro está a enfrentar vários desafios: a descida de negócios e economia local; a deterioração dos espaços públicos locais e do espírito comunitário; a falta de espaços públicos resilientes ao clima; problemas de acessibilidade, especialmente para pessoas com mobilidade reduzida; edifícios antigos, não adaptados às necessidades das pessoas; aumento descontrolado de turistas, o que resulta na substituição de residentes locais por turistas, lojas locais por lojas turísticas e aumento do valor de aluguer (SUSHI, 2020). O bairro de Alfama está localizado em duas freguesias, São Vicente e Santa Maria Maior. Estas freguesias foram definidas em 2013 com a reorganização administrativa do território, processo que consistiu na agregação de várias freguesias antigas (Cruz & Seca, 2013). A tabela 3.1 mostra todas as freguesias que existiam antes desta agregação e que agora pertencem a São Vicente e a Santa Maria Maior. Para este caso de estudo, dentro da atual freguesia de São Vicente é considerada a anterior freguesia de São Vicente de Fora. Em Santa Maria Maior as freguesias que incluem a Alfama são: Castelo, Santiago, S. Estêvão, S. Miguel, Sé.

Tabela 3. 1. Freguesias antigas pertencentes a Santa Maria Maior e São Vicente. Fonte: (Cruz & Seca, 2013)

Freguesias Antigas	Freguesia atual
Castelo	Santa Maria Maior
Madalena	
Mártires	
Sacramento	
Santa Justa	
Santiago	
S. Estêvão	
S. Cristóvão e Lourenço	
S. Miguel	
S. Nicolau	
Sé	
Socorro	São Vicente
São Vicente de Fora	
Graça	
Santa Engrácia	

Alfama tem uma área de 0,78 km² equivalente a 0,77% da área de Lisboa. Este bairro é representado pela torre da igreja de Santa Cruz do castelo e de Santa Luzia. Também pertence a Alfama o castelo de São Jorge, assim como a igreja de Santo Estêvão e a igreja de São Vicente de Fora. Depois de 2013, Alfama apresenta 0,85 km², ocupando cerca de 0,85% da área de Lisboa. A figura 3.2 mostra as freguesias que vão ser o foco desta dissertação.



Figura 3.2. Freguesias de Alfama a ser analisadas. Fonte: adaptado de Censos 2011 (INE, 2011)

4. Resultados e Discussão

A apresentação dos resultados divide-se em componentes distintas seguindo a estrutura metodológica apresentada na figura 3.1., nomeadamente apresentação dos resultados das necessidades energéticas atuais para aquecimento e arrefecimento de espaços, impacto associado às medidas de melhoria das envolventes por tipologia e subsecção em cada cenário estudado, e custos de investimento associados.

4.1. Identificação de tipologias representativas dos edifícios residenciais

Para identificar as tipologias de edifícios representativos de cada freguesia, foi necessário estabelecer critérios base de caracterização recorrendo a informação disponível na base de dados georreferenciado do CENSOS de 2011 (INE, 2011). A representação tipológica é realizada com base nos dados de 1863 edifícios construídos nas freguesias de Alfama. Os critérios foram escolhidos com base no trabalho de Palma. (2019). Foram escolhidos os critérios “período de construção”, “tipo de edifícios”, “número de andares em cada edifício” e o “tipo de cobertura” como os mais relevantes para esta identificação tipológica e com significância na avaliação do desempenho energético. Com base na informação obtida no INE, foi possível obter uma visão geral do tipo de edifícios presentes no bairro, a partir de uma análise detalhada de cada critério. É importante referir que os dados disponibilizados no CENSOS de 2011 encontram-se organizados na estrutura administrativa anterior, com mais detalhe ao nível do bairro de

Alfama. A tabela 4.1 apresenta o número de edifícios existentes em cada uma das antigas freguesias (INE, 2011).

Tabela 4.1. Número e percentagem de edifícios de cada freguesia (INE, 2011)

Freguesia	Número de edifícios	Percentagem de edifícios (%)
Castelo	102	5
Santiago	113	6
S. Estevão	409	22
S. Miguel	264	14
S. V. Fora	831	45
Sé	144	8

4.1.1. Período de construção

O período de construção é um critério importante que permite ser usado como proxy para o tipo de materiais e práticas construtivas, e regulamentos existentes. Os períodos de construção estão representados na figura 4.1. Verifica-se uma percentagem elevada nos intervalos “Antes de 1919” e “1919-1945”, evidenciando que Alfama é um bairro constituído maioritariamente por edifícios antigos, construídos antes da implementação de qualquer regulamento térmico (*i.e.* 1990).

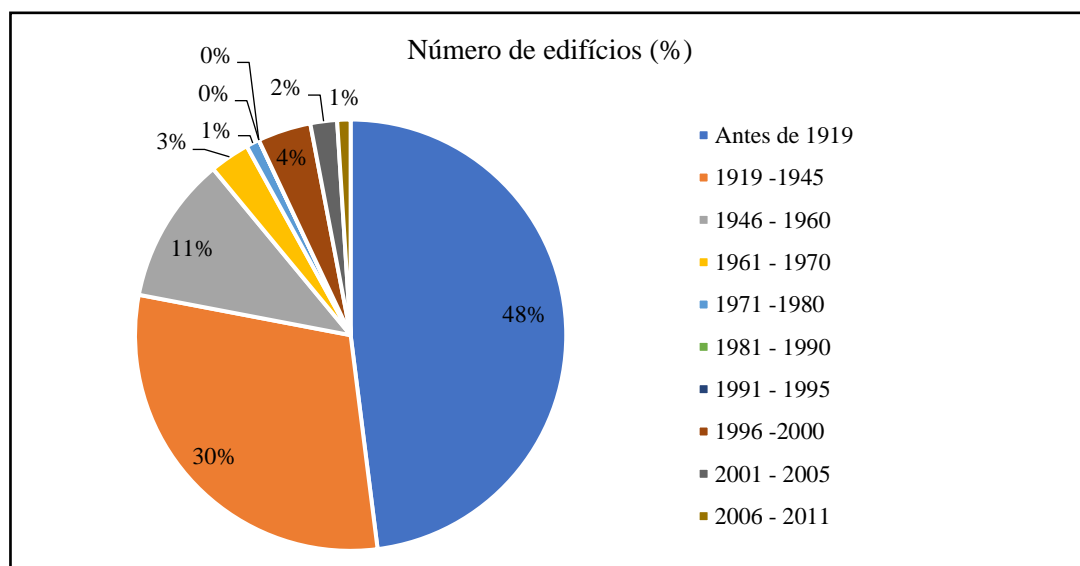


Figura 4.1. Número de edifícios nas freguesias em análise consoante o período de construção. Fonte: adaptado de Censos 2011 (INE, 2011)

Ao nível das freguesias, foram analisados o número de edifícios para cada período de construção e verificou-se que S. Estevão, S. Miguel e São Vicente de Fora são as freguesias que têm mais edifícios construídos “Antes de 1919”. Após a análise da tabela 4.2, verificou-se que em todas as freguesias, existe um número elevado de edifícios construídos no período “Antes de 1919” e “1919-1945”. Estes dados são relevantes para a determinação das tipologias finais mais representativas.

Tabela 4. 2. Número de edifícios em cada freguesia segundo o período de construção (INE, 2011)

Período de construção	Antes de 1919	1919 - 1945	1946 - 1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990	1991 - 1995	1996 - 2000	2001 - 2005	2006 - 2011
Castelo	19	0	0	1	3	1	3	52	19	4
Santiago	61	40	8	3	1	0	0	0	0	0
S. Estevão	275	119	8	1	3	1	0	2	0	0
S. Miguel	234	28	1	0	0	1	0	0	0	0
S.V. Fora	255	304	189	49	4	6	3	9	8	4
Sé	59	70	1	1	1	0	0	4	2	6

4.1.2. Número de andares

A tabela 4.3 apresenta a distribuição do número de edifícios no bairro de Alfama consoante o número de andares. Este critério foi definido nas classes “1/2”, “3/4” e “5/+” andares com base nos dados disponibilizados no (INE, 2011). Foram feitas agregações das classes para este critério para simplificar a contagem dos edifícios. Em Alfama, os edifícios são, em geral, pequenos, com um número de andares entre 1 a 4. O número de frações por andar não está incluído neste critério.

Tabela 4. 3. Número de edifícios em Alfama consoante o número de andar (INE, 2011)

Andar	1/2	3/4	5/+
Número de edifícios	777	781	305
Número de edifícios (%)	42	42	16

Foi analisada de forma mais detalhada a distribuição do critério “número de andares” nas várias freguesias, como se mostra na tabela 4.4. No entanto, nota-se um aumento nas duas primeiras classes em todas as freguesias. São Vicente de Fora é a freguesia que tem um maior número de edifícios no geral e mais acentuado no “1/2” e “3/4”.

Tabela 4. 4. Número de edifícios em cada freguesia consoante o número de andares (INE, 2011)

Andar	1/2	3/4	5/+
Castelo	37	54	11
Santiago	35	63	15
S. Estevão	138	196	75
S. Miguel	50	157	57
S. V. Fora	498	265	68
Sé	19	46	79

4.1.3. Tipo de edifício

O tipo de edifício é um critério que permite identificar as diferenças entre os edifícios segundo a sua disposição no território em Alfama. A figura 4.2 mostra as características de cada edifício e como se pode ver, os edifícios multifamiliares são os edifícios mais predominantes no bairro.

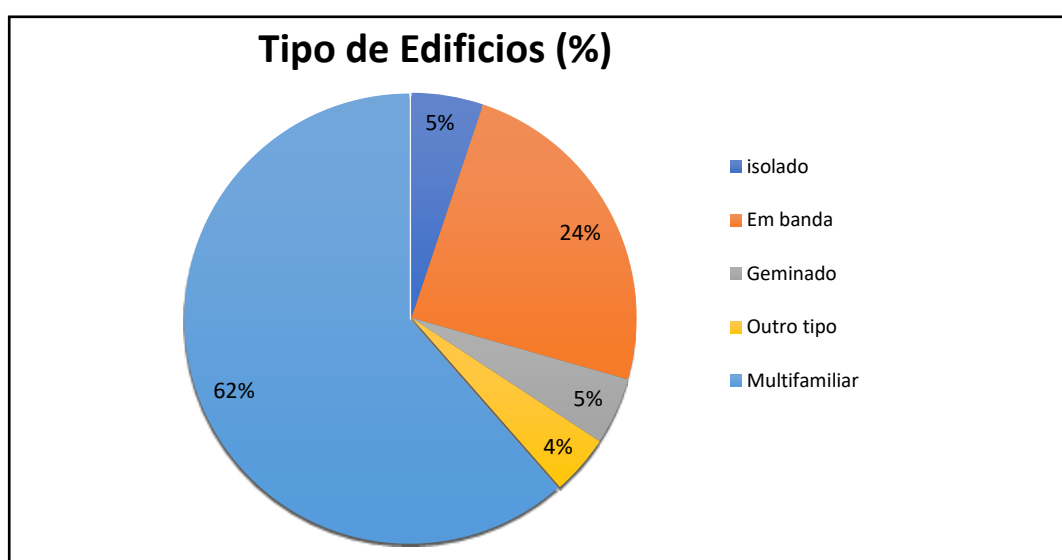


Figura 4.2. Tipo de Edifícios presentes no bairro de Alfama (INE, 2011)

As restantes categorias são percentagens bastante reduzidas e por essa razão decidiu-se agregá-las e criar a categoria “moradia” que inclui os edifícios “isolados”, “em banda”, “geminados” e “outro tipo”. Esta categoria, juntamente com o “Multifamiliar”, garante

que todos os edifícios do bairro são considerados. Sendo assim, a classe “Moradia” representa 38% dos edifícios e “Multifamiliar” inclui os restantes 62% dos edifícios. A tabela 4.5 apresenta o número de edifícios presentes em cada freguesia. São Vicente de Fora juntamente com S. Estevão são as freguesias com mais edifícios nas duas categorias. Mesmo com o somatório das categorias anteriores, a categoria “Moradia” continua a ser a que apresenta a menor percentagem de edifícios em todas as freguesias com exceção de São Vicente de Fora.

Tabela 4. 5. Número de edifícios em cada freguesia tendo em vista o tipo de edifício (INE, 2011)

Tipo de edifício	Moradia	Multifamiliar
Castelo	40	62
Santiago	20	93
S. Estevão	120	289
S. Miguel	41	223
S.V. Fora	478	353
Sé	19	125

4.1.4. Tipo de cobertura

O tipo de cobertura do edifício é um critério identificado com potencial interesse para definir as tipologias e corresponde ao tipo de telhado de cada edifício. A figura 4.3, identifica-se que a cobertura inclinada, revestida por cerâmica ou betão, é a categoria dominante nos edifícios de Alfama. Desta forma, decidiu-se excluir as restantes categorias pois o número de edifícios das três categorias corresponde apenas a 3%. Sendo assim, “cobertura inclinada revestida por cerâmica ou betão” é a única categoria que vai ser considerada.

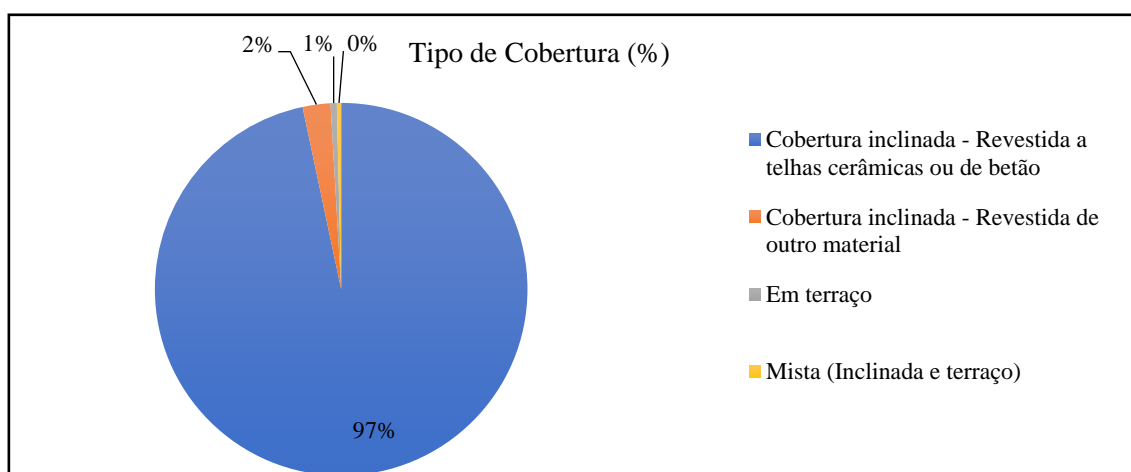


Figura 4. 3. Tipo de Cobertura presente nos edifícios em Alfama

A tabela 4.6 apresenta o número de edifícios com “cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão” em cada freguesia. Por esta razão, as percentagens calculadas basearam-se no número total de edifícios apenas com esta categoria correspondendo a 1801 edifícios. A tabela mostra que São Vicente de Fora tem mais edifícios deste tipo, isto porque é a freguesia com mais edifícios em geral. Como se considerou apenas a “cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão”, este critério não vai influenciar a definição final das tipologias isto porque os números de edifícios com esta cobertura correspondem praticamente à totalidade existente no bairro.

Tabela 4. 6. Número e percentagem de edifícios com cobertura inclinada (INE, 2011)

Telhado	Cobertura inclinada	Cobertura inclinada
	- Revestida a telhas cerâmicas ou de betão	- Revestida a telhas cerâmicas ou de betão %
Castelo	102	6
Santiago	109	6
S. Estevão	387	21
S. Miguel	264	15
S.V. Fora	804	45
Sé	135	7

4.2. Tipologia do edificado em Alfama (1ª Fase - 2A¹)

A definição das tipologias de edifícios residenciais de Alfama baseou-se na maior representatividade dos critérios analisados anteriormente. De forma a incluir o maior número de edifícios, foi considerado “Período de construção”, “Tipo de Edifício”, e “Andar” como os critérios mais relevantes para o estudo.

Para o caso do critério “Período de Construção” definiu-se apenas duas categorias: “antes de 1919” e “1919-1960” como determinantes das tipologias de Alfama. O primeiro período contém 49% dos edifícios enquanto que o segundo representa 41% dos edifícios no bairro. Estas duas classes completam cerca de 90% do parque edificado. Foi feita uma

¹ Nomenclatura associada à Figura 3.1

alteração nas classes originais que envolveu a combinação de vários períodos com características semelhantes com o objetivo de incluir o maior número de edifícios nas tipologias e diminuir o número de tipologias finais. Foram excluídos das tipologias finais vários períodos de construção porque a número de edifícios presentes não justificava a sua existência.

Para o critério “tipo de edifício”, foram incluídas as duas classes criados durante a análise do bairro: “moradias”, com 38% de representatividade no bairro, e “multifamiliar”, critério que contam 62% dos edifícios. Para o caso da tipologia 1, decidiu-se juntar os dois tipos de edifícios para envolver o maior número de edifícios com os devidos critérios dado a sua diferença em termos construtivos com potencial impacto nas necessidades de energia não ser muito diferente. Finalmente, para o critério “número de andares” foram usadas as três classes iniciais porque cada um apresenta uma percentagem justificável de edifícios, mantendo-se assim a diversidade existente. A tabela 4.7 mostra as tipologias criadas a partir dos critérios previamente estipulados.

Tabela 4. 7. Tipologias dos edifícios presentes no bairro de Alfama (INE, 2011)

Tipologia	Período de construção	Tipo de edifício	Número de Andares
TP1	Antes de 1919	Moradia/Multifamiliar	1/2
TP2	1919-1960	Moradia	1/2
TP3	Antes de 1919	Multifamiliar	3/4
TP4	1919-1960	Multifamiliar	3/4
TP5	Antes de 1919	Multifamiliar	5/+
TP6	1919-1960	Multifamiliar	5/+

Foram definidas seis tipologias de edifícios residenciais representativos para Alfama, sendo que 1585 edifícios, dos 1863 existentes, estão incluídos nestas tipologias (85% dos edifícios estão incluídos nas tipologias criadas). A tabela 4.8 apresenta as tipologias juntamente com o número de edifícios presentes em cada freguesia numa dada tipologia. A tipologia 3 é a que possui mais edifícios do bairro. A tipologia 5 e 6 são as que apresentam menos representação quanto ao número de edifícios. Ao analisar as freguesias, Castelo é a freguesia que tem menos edifícios inseridos nas tipologias. São Vicente de Fora é a freguesia com mais edifícios distribuídos pelas tipologias. Se

analisarmos objetivamente cada critério, verifica-se que o período “Antes de 1919” envolve um maior número de edifícios em comparação com o período de construção “1919-1960”. Em relação ao tipo de edifícios, o critério “multifamiliares” tem uma maior relevância nos edifícios incluídos nas tipologias. O mesmo acontece com o número de andares com um maior número de edifícios com “1/2” e “3/4” andares.

Tabela 4. 8. Número e percentagem de edifícios presentes em cada tipologia (INE, 2011)

Tipologia	Total Edifícios	Total (%)	Castelo	Santiago	São Estevão	São Miguel	S. V. Fora	Sé
TP1	330	18%	7	24	105	47	139	8
TP2	321	17%	0	6	23	2	287	3
TP3	409	22%	11	30	120	138	95	15
TP4	261	14%	0	26	66	12	137	20
TP5	133	7%	1	2	43	43	13	31
TP6	131	7%	0	11	26	13	42	39

4.3. Localização geográfica das tipologias (1ª Fase – 2B²)

Após a formação das tipologias procedeu-se à localização espacial das tipologias no bairro de Alfama. Para este processo, foi necessário identificar as subsecções e saber as tipologias presentes em cada uma. Assim, foram identificados os números de subsecções com cada tipologia, o número de edifícios presentes em cada subsecção e qual a tipologia dominante em cada subsecção. A localização geográfica foi determinada com recurso ao *software QGIS* que permitiu mapear os resultados para cada subsecção quanto às tipologias predominantes e número de edifícios.

4.3.1. Localização geográfica ao nível das subsecções

Segundo o INE, uma subsecção corresponde a uma unidade territorial que identifica a mais pequena área homogénea, de construção ou não, existente dentro da secção estatística. Corresponde ao quarteirão nas áreas urbanas, ao lugar ou parte do lugar nas áreas rurais ou a áreas residuais que podem ou não conter unidades estatísticas (isolados). No bairro de Alfama nem todas as tipologias definidas estão presentes em todas as subsecções e, por isso, foi calculada a percentagem de subsecções onde cada tipologia está presente. Sabendo que Alfama possui 133 subsecções, a tabela 4.9 mostra uma

² Nomenclatura associada à Figura 3.1

consistência de subsecções para cada tipologia. A tipologia 2 é a que está presente em menos subsecções, e as tipologias 1, 3 e 5 as mais frequentes.

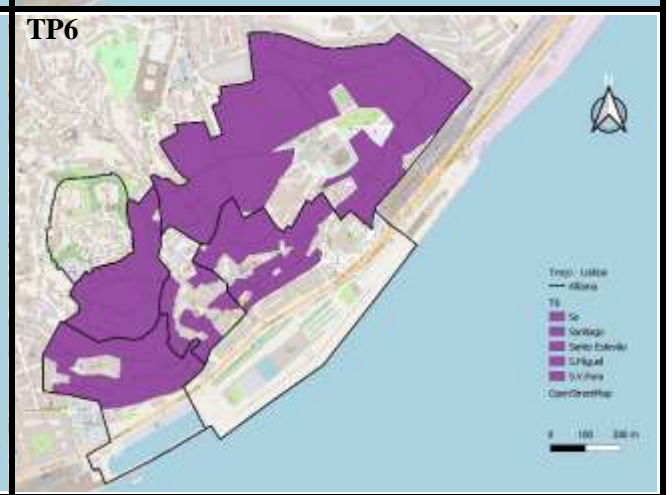
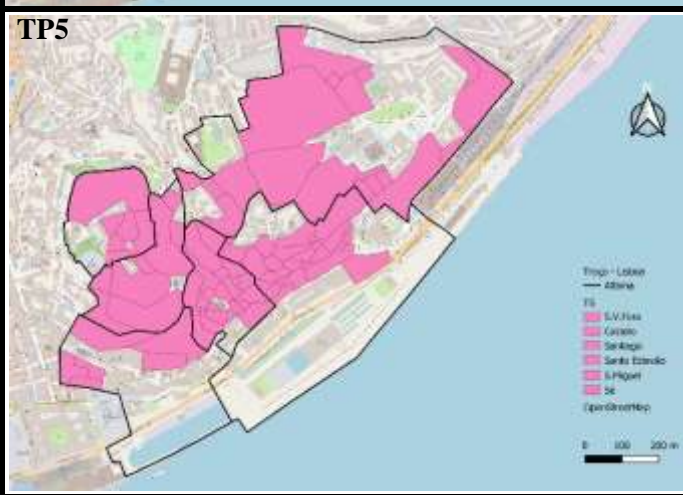
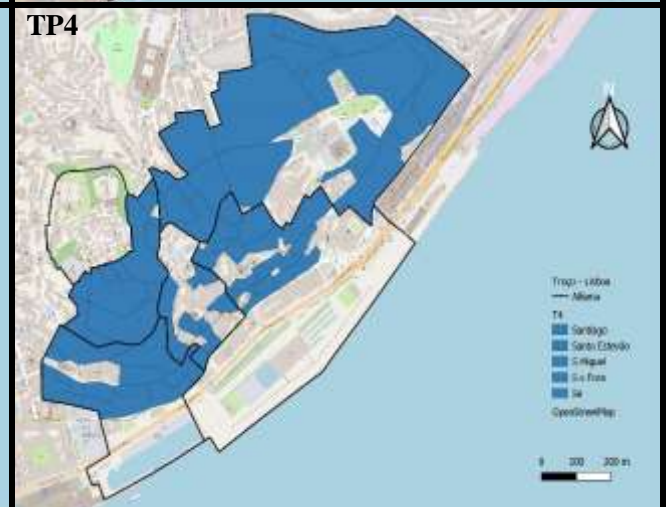
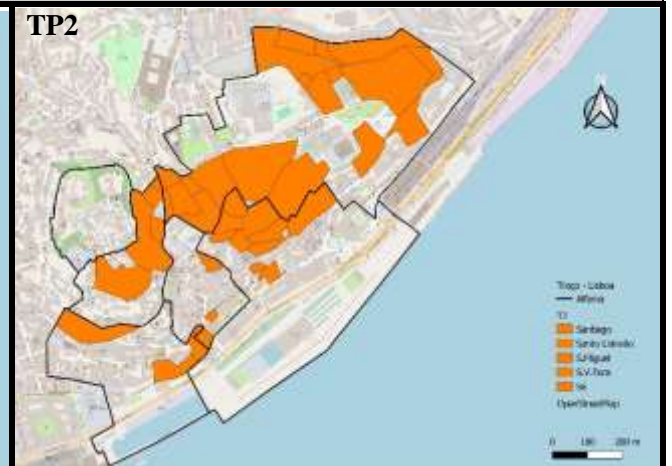
Tabela 4. 9. Percentagem de subsecções que incluem as tipologias (INE, 2011)

Tipologia	Subsecções %
TP1	66
TP2	30
TP3	65
TP4	59
TP5	65
TP6	59

Após a análise das tipologias em cada subsecção os resultados foram mapeados com recurso ao *Software QGIS*. A figura 4.4 contem todas as tipologias localizadas no bairro de Alfama. Cada imagem identifica a localização de uma tipologia nas diferentes subsecções no bairro de Alfama. Note-se que a subsecção junto da zona ribeirinha não está seleccionada em nenhuma tipologia porque não existem edifícios residenciais, tratando-se de uma área residual sem unidades estatísticas.

Figura 4. 4. Localização geográfica de cada tipologia ao nível das subsecções para as freguesias de Alfama

Localização específica de cada tipologia



4.3.2. Localização geográfica e número de edifícios

Após a análise das subsecções, determinou-se o número de edifícios em cada subsecção para a respetiva tipologia. Para tal foi necessário analisar cada subsecção em cada freguesia para cada tipologia criada, que implicou a definição de um intervalo do número de edifícios para facilitar a localização dos edifícios em cada subsecção. Existem tipologias com intervalos diferentes devido ao número de edifícios o que obrigou à formatação dos intervalos para cada tipologia. Notou-se uma elevada percentagem de subsecções com um número de edifícios entre 0 e 4 em todas as tipologias.

A figura 4.5 mostra a localização de cada tipologia nas várias subsecções estatísticas do INE. Cada localização traduz os intervalos de número de edifícios definido para cada tipologia. A diferença dos intervalos é feita com o gradiente das cores de cada tipologia.

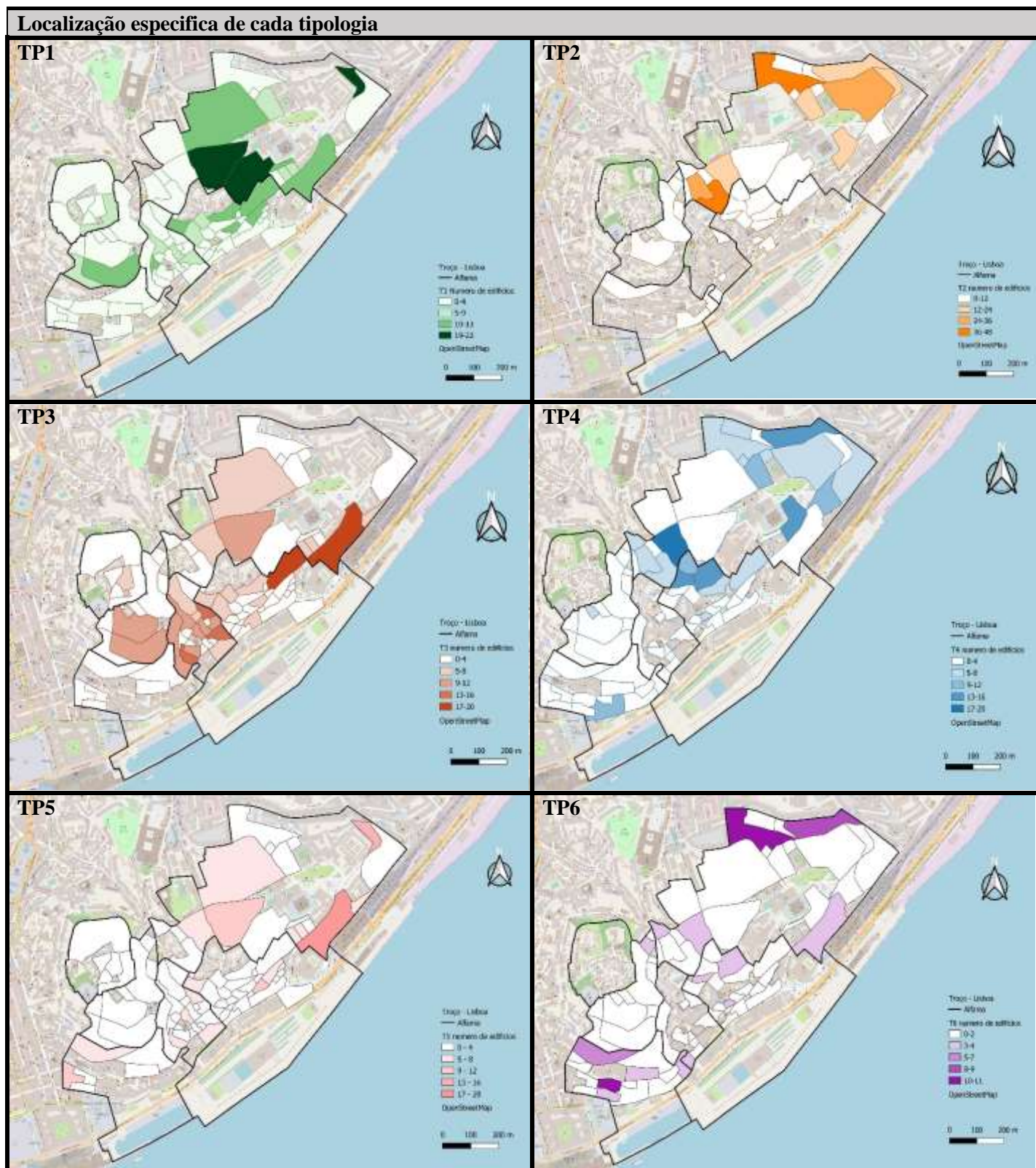


Figura 4. 5. Localização do número de edifícios em cada subsecção

4.3.3. Localização geográfica das tipologias dominantes

A identificação do número de edifícios em cada tipologia permitiu calcular a tipologia dominante em cada subsecção, observando-se qual a tipologia com mais edifícios em cada subsecção. A tabela 4.10 mostra as percentagens de cada tipologia em cada freguesia. O valor “N/T” significa que não existe uma tipologia dominante, porque não existem edifícios com essa tipologia ou então o número de edifícios é igual para mais que uma tipologia, logo não existe um domínio tipológico. Numa visão geral, a tipologia 3 e 4 são as mais dominantes.

Tabela 4.10. Percentagem de cada tipologia presente em cada freguesia de forma a determinar a qual a tipologia dominante (INE, 2011)

Tipologia Dominante	Castelo	Santiago	São Estevão	São Miguel	S. V. Fora	Sé
TP1	22%	15%	24%	8%	19%	6%
TP2	N/T	8%	N/T	N/T	16%	6%
TP3	44%	15%	38%	64%	9%	12%
TP4	N/T	31%	N/T	4%	13%	24%
TP5	N/T	8%	8%	4%	6%	6%
TP6	N/T	8%	N/T	N/T	N/T	N/T

A figura 4. 6 mostra as tipologias dominantes em cada subsecção. Cada tipologia é diferenciada pela cor. As zonas sem qualquer tipo de tipologia representam áreas de jardins, mosteiros ou igrejas.



Figura 4. 6. Tipologia dominante em cada subsecção estatística do Bairro de Alfama (INE, 2011)

4.4. Caracterização tipológica a partir dos certificados energéticos (2ª Fase)

A introdução dos certificados energéticos (CE) na caracterização tipológica serviu, numa primeira fase, de complemento para uma caracterização mais detalhada de cada tipologia ao nível das envolventes, consumos energéticos, coeficientes de transmissão térmica e do tipo de ventilação de cada fração construída em Alfama. A amostra dos certificados do bairro de Alfama foi extraída de um conjunto de cerca de 520mil certificados energéticos emitidos entre Dezembro 2013 e Outubro 2018 provenientes da base de dados nacional de certificados energéticos (ADENE, 2018).

O número de alojamentos em Alfama incluídas nas tipologias, corresponde a 6004 e o número de certificados energéticos identificados foi 4142. O gráfico 3.9 apresenta o número de certificados e de alojamentos familiares associados a cada tipologia. As tipologias com mais certificados são as três últimas que apresentam percentagens superiores a 20%. A figura 4.7 mostra que nas tipologias 1, 2 e 3 mostram um maior número de alojamentos no qual não foram realizadas análises de certificação energética.

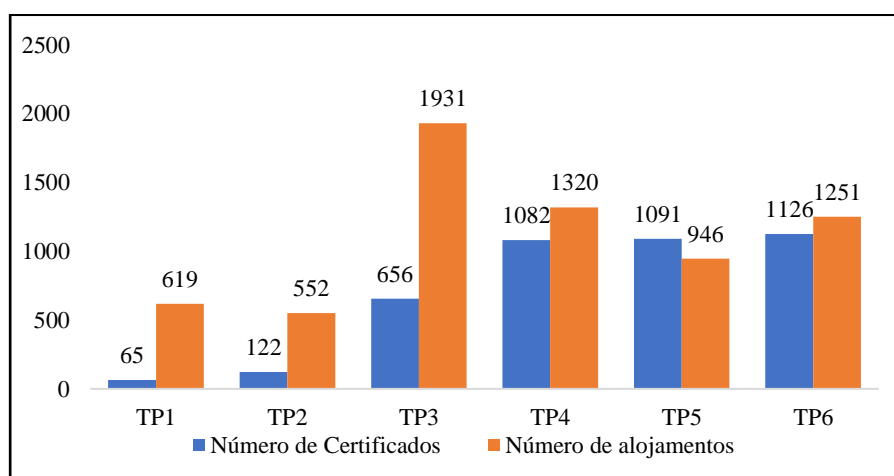


Figura 4. 7. Percentagem de certificados existentes em cada tipologia (ADENE, 2018)

A caracterização com recurso aos certificados energéticos requereu uma análise mais detalhada das envolventes visto esta componente ser dos parâmetros mais significativos para o cálculo das necessidades energéticas e com maior impacto potencial para testar cenários de renovação energética nos alojamentos. Essa análise teve como finalidade caracterizar as envolventes de cada certificado e identificá-las em cada tipologia.

A segunda fase consistiu em calcular as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento para cada tipologia de edifícios definindo posteriormente medidas de

melhoria das envolventes e o seu custo de investimento. As envolventes exploradas foram as paredes, coberturas, pavimentos, e tipos de janelas assim como foi feita uma análise de pontes térmicas lineares e pontes térmicas planas. Para cada um destes parâmetros obteve-se os dados mais relevantes para a sua caracterização e/ou importância para os cálculos das necessidades energéticas: i.e., área total da envolvente, tipo de elemento, pé direito da fração e o coeficiente de transmissão térmica (U).

Paredes

Existem diferentes tipos de paredes considerados nos certificados energéticos. A tabela 4.11 representa o número de certificados para os diversos tipos de paredes. “Paredes simples de alvenaria de blocos de betão celular autoclavado”, “Parede dupla com isolamento térmico pelo interior”, “Parede dupla com isolamento térmico pelo exterior” e “Paredes simples de alvenaria (paredes de adobe)”, são envolventes que representam percentagens muito baixas e não justificam a sua análise. “Parede simples sem isolamento térmico”, “Parede simples rebocada (anteriores a 1960)”, “Parede simples de alvenaria de pedra e argamassa” são as envolventes mais significativas nas tipologias e vão ser analisadas com mais detalhe.

Tabela 4. 11. Representatividade (%) de cada tipo de parede nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

Envolvente	Presença na amostra de CE	Presença na amostra de CE (%)
Parede simples sem isolamento térmico	707	13%
Parede simples rebocada (anteriores a 1960)	2772	50%
Parede simples ou dupla rebocada (posterior a 1960)	291	5%
Parede simples de cantaria e de alvenaria aparelhada	334	6%
Parede simples de alvenaria moldadas (paredes de taipa)	61	1%
Parede simples de alvenaria de pedra seca	35	1%
Parede simples de alvenaria de pedra e argamassa	701	13%
Parede simples de alvenaria composta de tijolo maciço ou perfurado	104	2%
Parede simples de alvenaria (paredes de adobe)	19	0%
Parede simples com isolamento térmico pelo interior	242	4%
Parede simples com isolamento térmico pelo exterior	44	1%
Parede dupla sem isolamento térmico	64	1%
Parede dupla com isolamento térmico no espaço de ar	107	2%

Da análise anterior resulta a representatividade de cada tipo de parede na amostra dos certificados energéticos. A tabela 4.12 apresenta as percentagens de certificados para cada tipologia para cada tipo de parede. As últimas três tipologias são as apresentam maiores percentagens e maior variedade de paredes.

Tabela 4.12. Representatividade (%) de cada tipo de parede por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

Tipos de Parede	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Parede simples sem isolamento térmico	13	24	123	171	178	198
Parede simples rebocadas (anteriores a 1960)	56	92	438	776	612	798
Parede simples ou duplas rebocadas (posterior a 1960)	7	8	47	100	69	60
Parede simples de cantaria e de alvenaria aparelhada	1	10	40	87	98	98
Parede simples de alvenaria moldadas (paredes de taipa)	1	0	1	15	19	25
Parede simples de alvenaria de pedra seca	0	0	3	2	30	0
Parede simples de alvenaria de pedra e argamassa	6	8	124	140	273	150
Parede simples de alvenaria composta de tijolo maciço ou perfurado	0	4	12	36	12	40
Parede simples de alvenaria (paredes de adobe)	0	0	10	4	5	0
Parede simples com isolamento térmico pelo interior	4	1	19	22	98	98
Parede simples com isolamento térmico pelo exterior	1	0	13	1	23	6
Parede dupla sem isolamento térmico	0	1	6	20	12	25
Parede dupla com isolamento térmico no espaço de ar	0	1	2	19	40	45
Presença na amostra de CE	89	149	838	1394	1475	1545
Presença na amostra de CE (%)	2%	3%	15%	25%	27%	28%

Cobertura

A cobertura da habitação é uma das envolventes com menos variedade e, como pode ser visto pelo gráfico 4.8, a “cobertura horizontal sem isolamento térmico” está presente em aproximadamente 50% dos certificados analisados. O mesmo acontece com a “cobertura inclinada sem isolamento térmico” que está presente em 33% dos certificados energéticos.

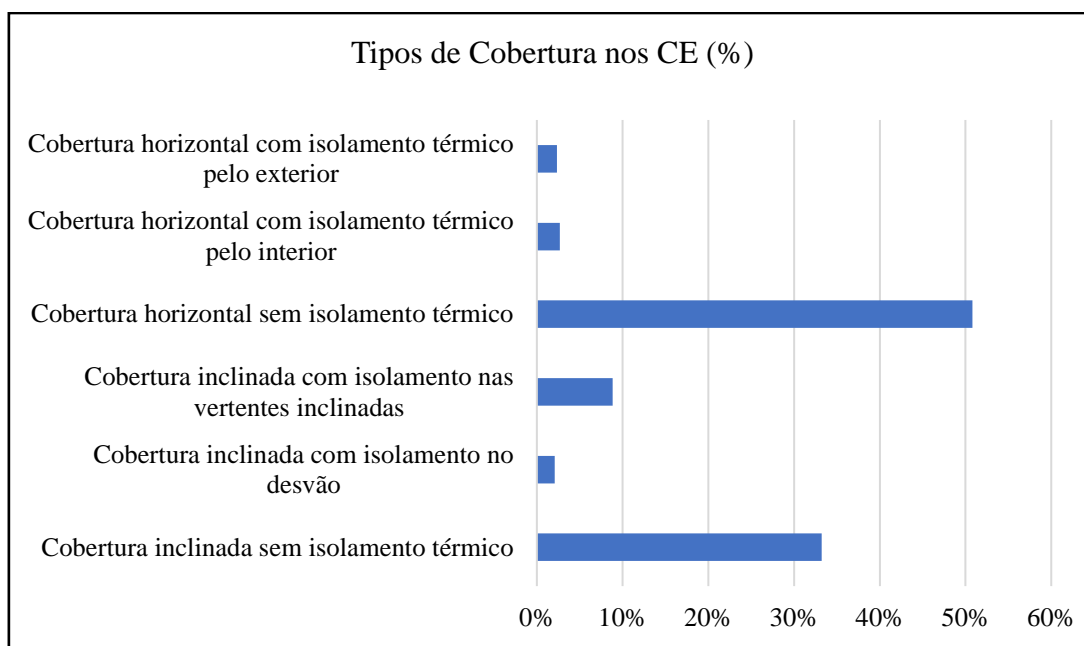


Figura 4.8. Representatividade (%) de cada tipo de cobertura nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

Os dados da cobertura ao nível das tipologias estão apresentados na tabela 4.13 e mostra que as tipologias com mais presença nos CE são as três últimas que apresentam valores acima dos 20%. Estas tipologias são as mais frequentes nas frações em Alfama. As coberturas mais representativas são a “cobertura inclinada sem isolamento térmico” e a “cobertura horizontal sem isolamento térmico”. As coberturas horizontais, com exceção da cobertura horizontal exterior, são referentes às coberturas entre andares no qual não existe contacto com o exterior. O facto de não comunicarem com o exterior justifica a sua exclusão da investigação porque não são aplicadas medidas de reabilitação.

Tabela 4.13. Representatividade (%) de cada tipo de cobertura por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

Tipos de Cobertura	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Cobertura inclinada sem isolamento térmico	12	20	146	171	159	157
Cobertura inclinada com isolamento no desvão		1	9	10	10	12
Cobertura inclinada com isolamento nas vertentes inclinadas	4	4	25	37	62	45
Cobertura horizontal sem isolamento térmico	26	44	176	308	226	237
Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo interior	0	0	9	3	22	20
Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo exterior	2	2	9	9	13	12
Presença na amostra de CE	42	71	374	538	492	483
Presença na amostra de CE (%)	2	4	19	27	25	24

Pavimento

A representatividade de cada tipo de pavimento na amostra de certificados está representada na figura 4.9, que mostra que o “pavimento sem isolamento térmico” está presente em 58% dos CE analisados, apresentando um domínio claro em relação aos restantes pavimentos.

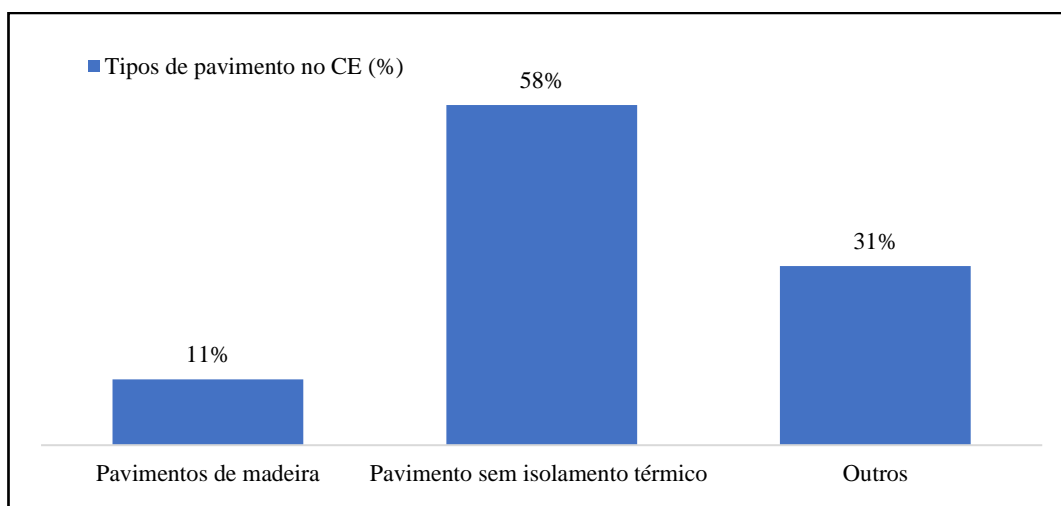


Figura 4.9. Representatividade (%) de cada tipo de pavimento nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

O pavimento de madeira é a segundo tipo de pavimento mais presente nos certificados, 11%, e os restantes tipos correspondem a 31%. O número de certificados onde consta cada pavimento para cada tipologia está representado na tabela 4.14. As tipologias 1 e 2 incluem edifícios que mostram menos certificados. As restantes tipologias têm o mesmo número de certificados com exceção da tipologia 4 que mostra a maior percentagem, 30%. Existem pavimentos que podem ser excluídos da análise porque não estão presentes em várias tipologias, como é o caso do “Pavimento interior com isolamento térmico pelo exterior”.

Tabela 4.14. Representatividade (%) de cada tipo de pavimento por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

Tipos de Pavimento	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Pavimentos de madeira	0	3	50	37	68	43
Pavimentos aligeirados	0	2	22	17	13	3
Pavimento sem isolamento térmico	32	57	192	346	196	216
Pavimento interior sem isolamento térmico	1	1	31	43	26	38
Pavimento interior com isolamento térmico pelo interior	0	1	8	9	2	23

Pavimento interior com isolamento térmico pelo exterior	0	0	0	0	2	3
Pavimento em contacto com o solo sem isolamento térmico	11	6	44	60	20	37
Pavimento em contacto com o solo com isolamento térmico	0	3	13	11	13	5
Pavimento com isolamento térmico pelo interior	0	1	5	11	13	3
Pavimento com isolamento térmico pelo exterior	0	0	5	2	23	16
Presença na amostra de CE	44	74	370	536	376	387
Presença na amostra de CE (%)	2	4	21	30	21	22

Pontes térmicas lineares

Ponte térmica é definida como uma zona da envolvente do edifício em que não é possível considerar a transferência de calor como unidimensional, onde a resistência à passagem de calor é inferior e a concentração das linhas de fluxo é superior (Gomes, 2017). Pontes térmicas lineares resultam da ligação de dois elementos de diferentes planos, causadas ao longo de um comprimento, como é o caso de intersecção de duas paredes. Se ocorrer condução bidimensional é um caso de ponte térmica linear (Gomes, 2017).

Para se determinar os valores para as pontes térmicas lineares, teve-se em conta o número de fachadas presentes em cada fração e a variedade das fachadas que existem em cada fração. A seguinte tabela 4.15 mostra as pontes térmicas lineares presentes nas frações que existem em Alfama.

Tabela 4.15. Pontes térmicas lineares presentes nos certificados em cada freguesia (ADENE, 2018)

Envolventes
Zona da caixa de estores
Fachada com varanda
Fachada com pavimentos térreos
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sobre o pavimento
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sob o pavimento
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido
Fachada com pavimento de nível intermédio
Fachada com cobertura e isolamento sobre a laje de cobertura
Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura
Fachada com cobertura
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia
Duas paredes verticais em ângulo saliente

A figura 4.10 mostra a percentagem de pontes térmicas lineares mais presentes nos certificados energéticos. A “fachada com pavimento de nível intermédio”, “fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia” e “duas

paredes verticais em ângulo saliente” são as pontes térmicas lineares que apresentam maior percentagem, ultrapassando os 70% do número de certificados. As restantes pontes apresentam números baixos, não justificando a análise final.

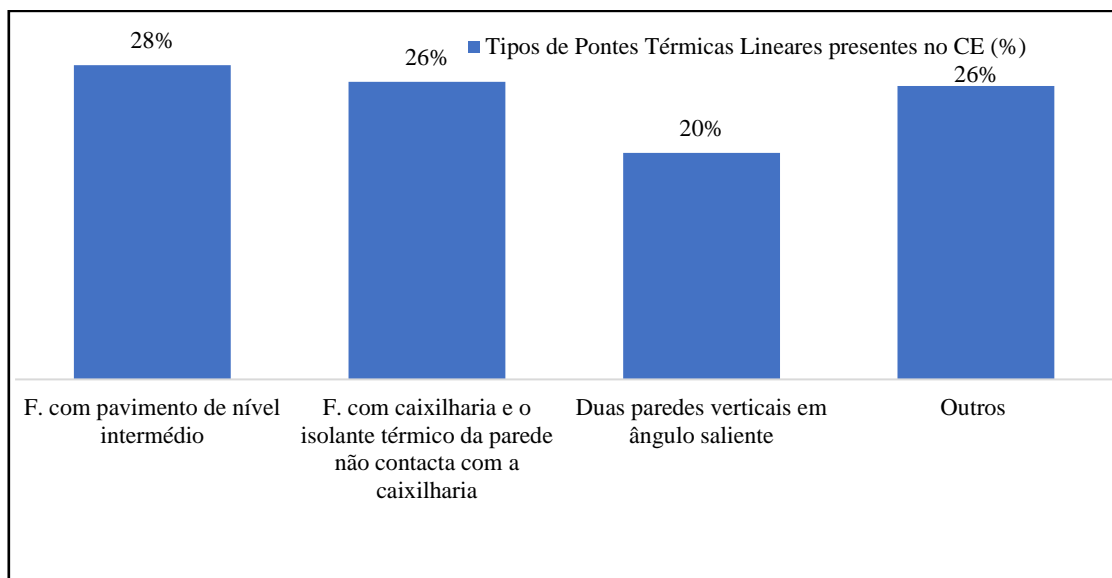


Figura 4.10. Representatividade (%) dos tipos de pontes térmicas lineares nos certificados energéticos (ADENE,2018)

Os valores elevados de pontes térmicas lineares associadas às fachadas podem ser justificados pela diversidade de pontes térmicas lineares presentes em cada certificado energético. Estes valores podem ser comprovados com a soma das fachadas mais relevantes nos certificados energéticos. Este resultado equivale a 6959 o que mostra que esta envolvente se repete nos certificados isto porque existe sempre mais do que uma fachada num alojamento. O número de certificados é bastante mais volumoso e as tipologias mais relevantes são as três últimas que apresentam, cada uma, percentagem superior a 20%. As menos relevantes são a tipologia em 1 e 2 e a soma destes dois corresponde a 4%. As fachadas com mais certificados estão incluídos nas tipologias 4,5 e 6. As “fachadas com pavimento de nível intermédio”, “fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia” e as “duas paredes verticais em ângulo saliente”, são os critérios que mostram um número elevado de certificados com percentagens superiores a 25%. Estes valores são apresentados na tabela 4.16.

Tabela 4.16. Representatividade (%) de cada tipo de ponte térmica linear por tipologia nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

Pontes Térmica Lineares	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Zona da caixa de estores	6	23	44	145	95	107
Fachada com varanda	10	9	94	107	179	150
Fachada com pavimentos térreos	19	40	85	110	43	59
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sobre o pavimento	1	1	1	20	10	10
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sob o pavimento	0	0	17	27	45	58
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	1	2	38	30	29	33
Fachada com pavimento de nível intermédio	37	63	414	693	752	659
Fachada com cobertura e isolamento sobre a laje de cobertura	5	5	34	57	46	42
Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura	2	4	10	9	21	28
Fachada com cobertura	4	10	47	40	31	34
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	34	62	375	659	691	658
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	13	18	85	66	104	78
Duas paredes verticais em ângulo saliente	7	60	307	482	527	474
Presença na amostra de CE	139	297	1551	2445	2573	2390
Presença na amostra de CE (%)	1%	3%	16%	26%	27%	25%

Pontes térmicas planas e vãos opacos

Pontes térmicas planas são caracterizadas pela heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares, caixas de estores e talões de viga. Se a transmissão de calor for tridimensional a ponte térmica é pontual (Gomes, 2017).

Tanto as pontes térmicas planas como os vãos opacos, são envolventes que não têm grande influência na caracterização de cada tipologia e o número de certificados que contêm a caracterização deste tipo de envolvente é muito baixo. Para as pontes térmicas planas, os critérios que foram analisados foram as “caixas de estores” e os “pilares” e o número total de CE corresponde apenas a 7. Quanto ao vão opaco, este corresponde às portas que pertencem a cada alojamento. Sendo assim, cada certificado está incluído no critério “não aplicável”, porque durante a análise da fração não foram referidos os tipos de portas, a sua constituição, tipo de abertura e a possibilidade de um envidraçado na sua constituição. Dentro da categoria “não aplicável”, foram identificados 259 certificados com um determinado vão opaco.

Envidraçados

Esta envolvente é caracterizada por janelas de vidros simples e duplos. Após a análise dos certificados, registou-se um domínio praticamente total de vidros simples no edificado residencial de Alfama. Estes valores comprovam que Alfama é um bairro antigo e com falta de medidas de eficiência energética. Os vidros simples estão presentes em 99.6% das frações em Alfama, como se mostra no gráfico 4.11.

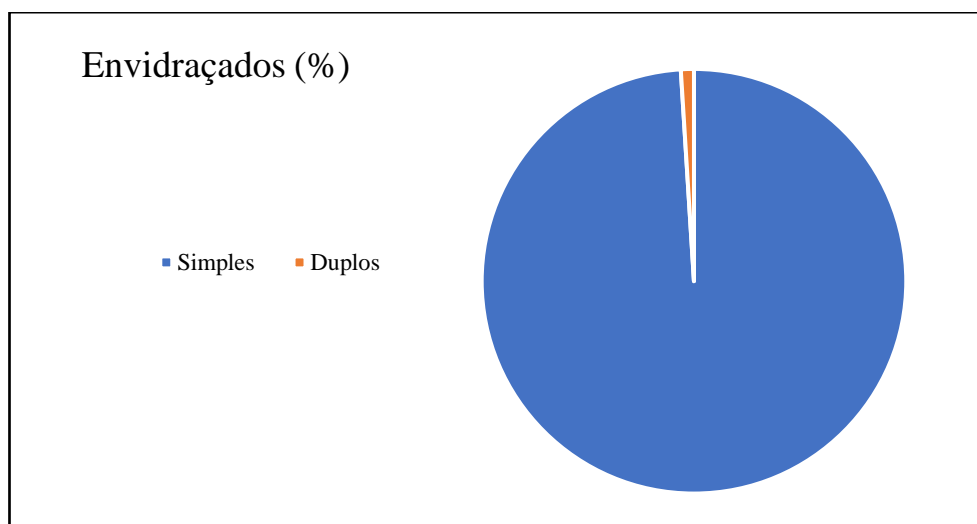


Figura 4. 11. Representatividade (%) de cada tipo de envidraçado nos certificados energéticos (ADENE, 2018)

A seguinte análise determinou, para os dois tipos de envidraçados, o número de alojamentos para cada tipologia com este tipo de janelas. Como se pode verificar, as três tipologias TP4, TP5 e TP6 são as mais relevantes (superior a 25%) por terem o maior número de certificados, correspondendo a 80% dos certificados disponíveis para Alfama, como se observa na tabela 4.17. Os vidros simples estão presentes em todas as tipologias e em grandes quantidades, quando comparados com os vidros duplos.

Tabela 4. 17. Número de Certificados para um tipo de janela em cada tipologia (ADENE, 2018)

Tipo de Envidraçado	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6
Simples	65	122	650	1078	1087	1115
Duplo	0	1	2	1	7	7
Presença na amostra de CE	65	123	652	1079	1094	1122
Presença na amostra de CE (%)	2%	3%	16%	26%	26%	27%

4.5. Medidas de melhoria para cada envolvente

Portugal apresenta um parque edificado com enorme potencial para aumento da eficiência energética e melhoria do conforto dos seus ocupantes. Nesse sentido, as medidas de melhoria identificadas no certificado energético surgem como uma ferramenta de reabilitação, para que o proprietário, caso pretenda, consiga melhorar o seu imóvel, com os seguintes objetivos: anular patologias existentes, aumentar o conforto dos utilizadores, diminuir os custos de exploração, e como consequência aumentar a classe energética do edifício.

Nesta fase da investigação, foram identificadas várias medidas de melhoria para cada envolvente da base de dados desenvolvida por Palma *et al.* (SD). As envolventes identificadas com impacto potencial mais significativo e escolhidas para testar diferentes cenários de renovação energética foram as paredes, os envidraçados e a cobertura. O custo de cada material é fundamental para calcular os custos de investimento para as envolventes.

Conclui-se a definição de dois cenários: Cenário A e Cenário B, com o objetivo de avaliar o potencial de redução máximo das necessidades energéticas em cada envolvente (A) e analisar as medidas com menor custo de investimento (B). Em cada envolvente foram aplicados vários isolamentos com diferentes constituições. Para esta envolvente foram identificados isolamentos de poliestireno expandido (EPS), lã mineral (LM), poliuretano projetado (PP), aglomerado de cortiça (AC). O EPS tem uma boa capacidade de isolamento, e é permeável ao vapor de água. Este isolamento é muito leve e apresenta uma elevada resistência mecânica, sendo este de fácil manuseamento. No entanto o isolamento acústico deste material é baixo e tem um método de fabricação poluente, sendo também muito prejudicial em caso de incêndio. A LM A lã de rocha é produzida a partir de uma rocha vulcânica, a diábase, por um processo químico chamado fusão. A lã de rocha é um material incombustível e completamente permeável ao ar e ao vapor de água, mas não absorve água. Ela é caracterizada por uma elevada compressibilidade, no entanto apresenta uma fraca resistência ao corte. Uma vantagem pratica diz respeito ao baixo custo deste material. O PP encontra-se sob a forma de painéis de espuma entre duas folhas de vários materiais (papel kraft, alumínio). Como o poliestireno, o poliuretano não é aconselhável para uma construção ecológica. Na verdade, este isolamento produz uma energia incorporada elevada. Além disso, o poliuretano não é reciclável, e não é derivado de matérias-primas renováveis. O

aglomerado de cortiça (AC) deriva de uma matéria-prima totalmente natural e renovável – a cortiça, cuja extração da árvore se enquadra no seu ciclo de vida. Trata-se um produto natural, inalterável, eficiente e reciclável sendo particularmente utilizado em habitações, é aplicado nos pavimentos, caixa-de-ar, paredes interiores, tetos falsos, coberturas e fachadas (Silva, 2013).

4.5.1. Cobertura

Os isolamentos que se destacam são o EPS 12, com uma espessura de 12 mm e um coeficiente de transmissão térmica (valor U) mais baixo quando comparado com os restantes isolamentos. LM 10, com espessura de 10 mm, é outro isolamento que se destaca pelo o preço mais baixo em relação aos outros isolamentos. A Figura 4.12 mostra os valores de U e custos de investimento para todos os possíveis materiais de isolamento usados na cobertura. A designação mais detalhada dos isolamentos usados nas envolventes estão apresentadas no anexo B.

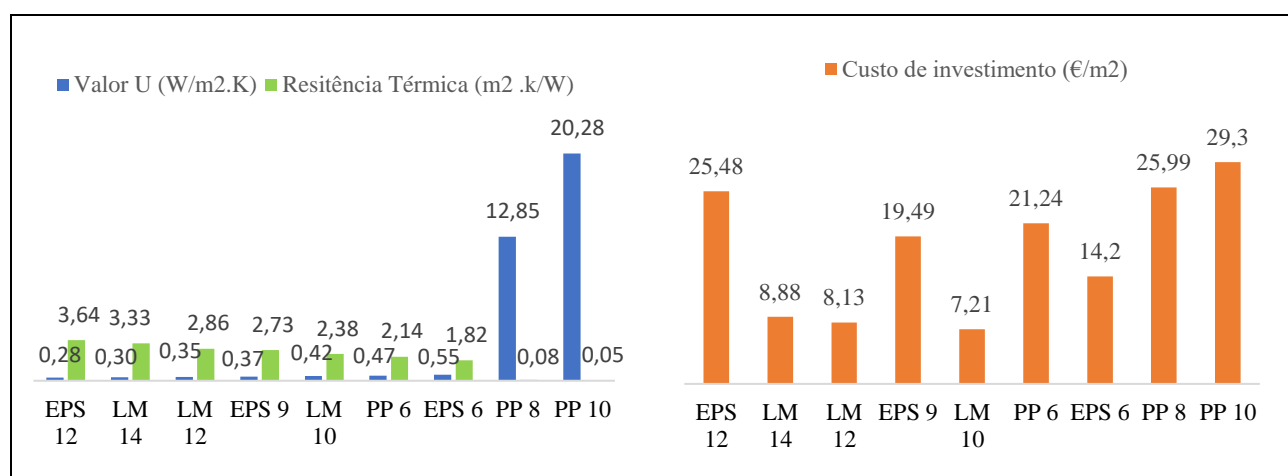


Figura 4. 12. Valores do U (W/m². K), (esquerda) e do custo de investimento (€/m²), (direito) dos isolamentos usados nas coberturas. Adaptado de Palma *et al.* (SD)

4.5.2. Paredes

Para as paredes, os isolamentos são sub-categorizados pelo tipo de aplicação nos edifícios. Para este estudo são considerados apenas isolamentos aplicados pelo interior devido às limitações de aplicação de isolamento pelo exterior no bairro de Alfama. As opções de isolamento das paredes incluem polistireno expandido (EPS), lã mineral (LM), placa de aglomerado de cortiça (AC). Todos os isolamentos têm um valor de U baixo,

com um custo de investimento relativamente semelhante com exceção de alguns tipos. Notou-se que o polistireno expandido EPS 15 tem o valor U menor e o polistireno expandido EPS 6 tem o menor custo. A Figura 4.13 mostra os valores de U e os custos por unidade de área para todos os isolamentos que podem ser usados neste caso de estudo (adaptado de Palma *et al.* (SD)).

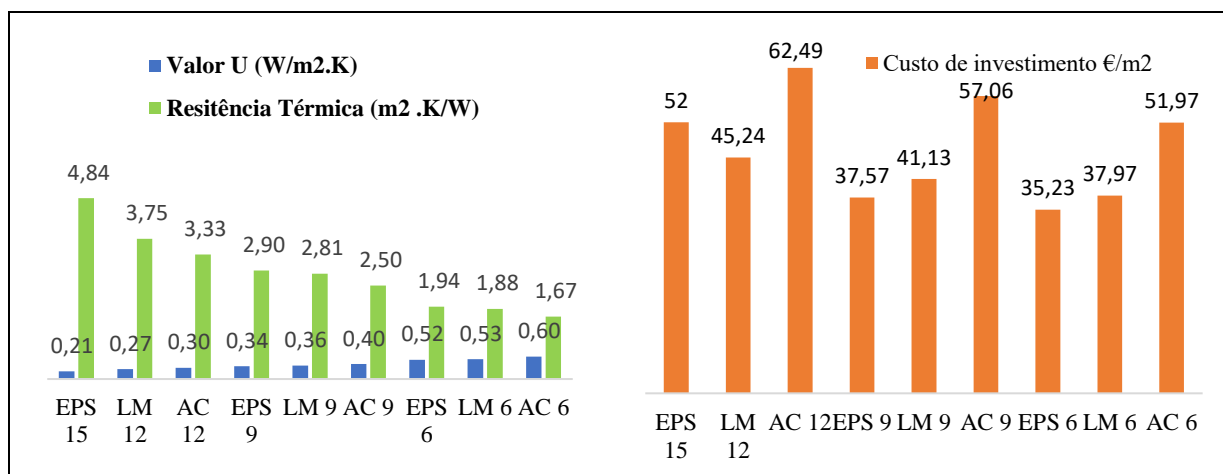


Figura 4. 13. Valores do U (W/m².K), (esquerda) e do custo de investimento (€/m²), (direita) dos isolamentos usados nas paredes. Adaptado de Palma *et al.* (SD)

4.5.3. Envidraçados

Para as janelas e envidraçados, as opções mais eficientes consideradas nesta investigação referem-se à substituição das caixilharias e ao tipo de vidro aplicado. Os tipos de caixilharias podem ser de alumínio e de PVC. O tipo de vidro pode ser de baixa emissividade e vidro *Standard* (STD). Os conjuntos que foram usados na análise são os seguintes:

- i. caixilharia de alumínio (AL) com vidro de baixa emissividade (LE) e com corte térmico (CT) que se designa "CX AL LE CT";
- ii. caixilharia de PVC com vidro STD, com corte térmico que se designa "CX STD CT";
- iii. caixilharia PVC com vidro de baixa emissividade (LE) que se designa "CX PVC LE";
- iv. o modelo "CX PVC STD" possui uma caixilharia de PVC do vidro STD;
- v. o conjunto com caixilharia AL com vidro EL designa-se "CX AL EL";
- vi. a caixilharia de alumínio, AL, com vidro *standard*, STD, pertence ao modelo "CX AL STD".

A figura 4.14 mostra os conjuntos de janelas que podem ser usados neste projeto, a opção “CX AL LE CT” destaca-se por ter o valor U baixo. A opção "CX PVC STD" também está em evidência por ter o menor custo de investimento.

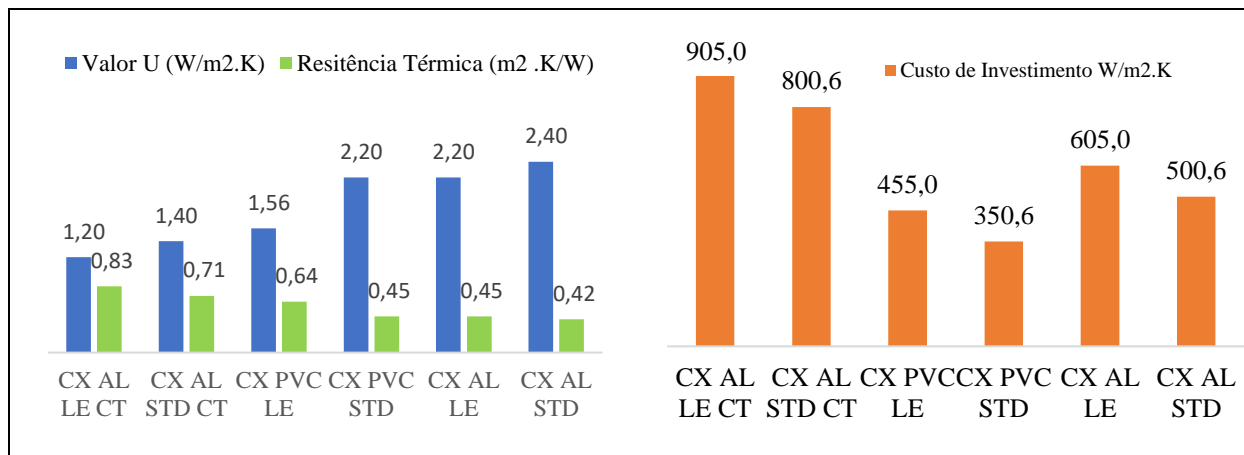


Figura 4.14. Valores do U (W/m². K), (esquerda) e do custo de investimento (€/m²), (direita) das soluções usadas nas janelas. Adaptado de Palma *et al.* (SD)

4.6. Áreas totais das Envolventes em cada tipologia

Para se calcular as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento de cada envolvente é necessário definir as áreas totais de cada envolvente associada aos alojamentos. A área média dos alojamentos é calculada a partir da informação disponibilizada nos certificados que continuam a ser usados como amostras representativas. As necessidades energéticas requerem o cálculo do valor médio do coeficiente de transmissão térmica (U), também obtido a partir dos certificados. Os dados de quê? obtidos vão posteriormente ser usados na ferramenta de cálculo *BLDAdapPT* para se estimar as necessidades nominais das envolventes.

4.6.1. Áreas médias

Os somatórios das áreas médias são calculados segundo a informação apresentada nos certificados. A informação disponibilizada nos certificados apenas tem disponível as áreas totais de cada envolvente no alojamento (ou fração conforme vier a decidir o que quer usar) pertencente a cada tipologia. Para as áreas das coberturas e paredes, foram excluídas as frações inferiores a 35 m². Também para as janelas, se excluíram as frações com áreas inferiores 5 m². Esta filtragem foi decidida com o objetivo de eliminar resultados fora do normal e anomalias que se reconheceu presentes nos certificados. Após

este processo, calculou-se a área média das envolventes, e por último determinou-se a área das envolventes com o somatório das áreas. A tabela 4.18 apresenta as áreas médias de cada tipo de envolvente nas diferentes tipologias.

Tabela 4. 18. Área média dos tipos de envolventes dos alojamentos em Alfama (ADENE, 2018)

Tipologia	Área Média (m ²)		
	Janelas	Cobertura	Paredes
TP1	13,9	64,7	76,0
TP2	9,1	58,1	68,1
TP3	12,2	73,2	77,9
TP4	11,1	63,9	78,2
TP5	13,5	72,2	84,8
TP6	13,7	72,7	85,2

4.6.2. Coeficientes de transmissão térmica (U_{final})

O somatório do coeficiente de transmissão térmica das tipologias é realizado com a informação dada pelos certificados. Inicialmente calculou-se o coeficiente de transmissão térmica das janelas (U_f), que resulta da multiplicação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite (U_{wdn}) pela área total da envolvente ($A_{totalEnv}$) (equação 4.1).

$$U_f = U_{wdn} \times A_{totalEnv} \quad [W/(m^2 . K)] \quad \text{(Equação 4.1)}$$

De seguida foi realizado o somatório dos coeficientes U para ser calculado o U_{final} cujo valor resulta da divisão entre o somatório do U_f e a área total da envolvente. O cálculo para determinar U_{final} está representado na equação 4.2.

$$U_{final} = U_f \times A_{totalEnv} \quad [W/(m^2 . K)] \quad \text{(Equação 4.2)}$$

O parâmetro U_{final} sofreu um processo de exclusão para retirar todos os valores que estivessem abaixo de um dado limite. Assim, as habitações que possuem janelas com coeficientes de transmissão térmicas inferiores a 0.39 W/(m².K) foram excluídos. O mesmo aconteceu com as paredes e com as coberturas que sofreram um processo de filtragem quando estas envolventes tem valores inferiores a 0.5 W/(m².K) para as paredes,

e 0.4 W/(m².K) para as coberturas. Por último, foi calculado o coeficiente de transmissão térmica médio de cada tipologia, como está apresenta na tabela 4.19.

Tabela 4. 19. Valor médio U para as tipologias de [W/m². K]

Tipologia	Valor Médio U W/ (m ² .K)		
	Janelas	Coberturas	Paredes
TP1	4,7	2,5	1,95
TP2	4,4	2,6	1,88
TP3	4,2	2,7	1,86
TP4	4,1	2,6	1,80
TP5	4,0	2,4	1,74
TP6	4,1	2,4	1,75

4.7. Cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento

Os cálculos das necessidades de aquecimento e arrefecimento de espaço foram feitos de acordo com a metodologia definida no atual regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação – REH (Ministério do Ambiente, 2015), considerando as temperaturas de conforto no inverno (18°C) e verão (25°C). Recorreu-se à ferramenta *BldAdaPT* desenvolvida no CENSE, FCT NOVA, usada anteriormente em estudos que envolveram e.g. o cálculo das necessidades energéticas para as 3092 freguesias portuguesas, caracterização do parque edificado nacional, e avaliação da vulnerabilidade à pobreza energética em Portugal (Gouveia & Palma, 2019)(Gouveia et al., 2019; Pedro Palma *et al.*, 2019). Nesta investigação, as necessidades de energia útil foram assim calculadas para as seis tipologias de edifícios localizadas no bairro de Alfama.

4.7.1. Necessidades de energia útil para aquecimento

A expressão geral para o cálculo das necessidades de energia útil para aquecimento de espaço encontra-se representada pela equação 4.3.

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})A_p \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad \text{(Equação 4.3)}$$

Em que $Q_{tr,i}$ é a transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh]; $Q_{ve,i}$ corresponde à transferência de calor por

ventilação na estação de aquecimento, [kWh]; $Q_{gu,i}$ representa os ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh], e A_p é a área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m²] (ADENE, 2020).

Quanto maiores forem as perdas de calor de certo edifício, maiores serão as suas necessidades térmicas úteis. Pelo contrário, quanto maiores forem os ganhos térmicos, menores serão as necessidades. A transferência de calor por transmissão através da envolvente foi calculada pela equação 4.4.

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad [kWh] \quad \text{(Equação 4.4)}$$

Em que: GD corresponde ao número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [°C.dia] e $H_{tr,i}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, [W/°C].

Segundo o regulamento, o coeficiente global de transmissão de calor é calculado através da soma de quatro diferentes coeficientes de transmissão, tal como demonstrado na equação 4.5.

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/°C] \quad \text{(Equação 4.5)}$$

Em que: H_{ext} representa o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C]; H_{enu} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [W/°C]; H_{adj} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [W/°C]; H_{ecs} é o coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, [W/°C] (ADENE, 2020).

No contexto deste trabalho, os coeficientes relativos à transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes e através de elementos em contacto com o solo não foram determinados, por falta de dados. Então, como os coeficientes H_{adj} e H_{ecs} são considerados nulos, $H_{tr,i}$ é calculado através da equação 4.6.

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{Equação 4.6})$$

Os coeficientes H_{enu} e H_{ext} são determinados pelas equações 4.7 e 4.8 respetivamente.

$$H_{ext} = \Sigma[U_i.A_i] + \Sigma[\psi_j.B_j]j_i \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{Equação 4.7})$$

$$H_{enu} = b_{tr} \times (\Sigma[U_i.A_i] + \Sigma[\psi_j.B_j]j_i) \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{Equação 4.8})$$

Em que: U_i é o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, $[W/(m^2.^{\circ}C)]$; A_i corresponde à área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício, $[m^2]$; ψ_j é o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j , $[W/(m.^{\circ}C)]$; B_j representa o desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, $[m]$; e b_{tr} corresponde ao coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente (ADENE, 2020).

No cálculo destes dois coeficientes para este trabalho, por falta de dados, não foi tida em conta a parcela relativa às pontes térmicas e pelo que as fórmulas para esses parâmetros nestes contextos estão representadas pelas equações 4.9 e 4.10.

$$H_{ext} = \Sigma[U_i.A_i]i \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{Equação 4.9})$$

$$H_{enu} = b_{tr} \times (\Sigma[U_i.A_i]i) \quad [W/^{\circ}C] \quad (\text{Equação 4.10})$$

O coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente (b_{tr}) foi considerado para os cálculos como sendo igual a 1. A forma como os restantes parâmetros são calculados pode ser observado no Anexo A.

4.7.2. Necessidades de energia útil para arrefecimento de espaço

A equação geral (Equação 4.11) para o cálculo das necessidades de energia útil para arrefecimento é a seguinte:

$$N_{vc} = (1 - \eta_v). Q_{g,v}/A_p \quad [kWh/m^2.ano] \quad (\text{Equação 4.11})$$

Em que η_v é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento; $Q_{g,v}$ representa os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, $[kWh]$; e A_p é a área

interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²]. O fator de utilização é determinado da mesma forma que o fator de utilização dos ganhos térmicos para a estação de aquecimento (Anexo A). A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente é obtida através da seguinte expressão (equação 4.12):

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad [kWh] \quad \text{(Equação 4.12)}$$

Em que $H_{tr,v}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [W/°C]; $\theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25°C; $\theta_{v,ext}$ corresponde à temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C]; e L_v representa a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas. (ADENE, 2020).

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão ($H_{tr,v}$) é determinado da mesma forma para a estação de aquecimento e arrefecimento, tal como os coeficientes de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior (H_{ext}) e elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis (H_{enu}), que o constituem no contexto deste trabalho. As expressões de cálculo dos restantes parâmetros podem ser consultadas no Anexo A. Através das metodologias descritas, foram então obtidas as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, por ano e metro quadrado, para cada uma das seis tipologias de edifícios.

4.8. Cenarização das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento

Nesta fase do estudo, os edifícios foram caracterizados quanto às suas necessidades energéticas nominais calculada pela ferramenta *BLDAdaPT*. Para tal, foram criados dois cenários de melhoria de eficiência energética das várias envolventes dos edifícios, para comparação com a situação atual do edificado. A comparação dos resultados dos dois cenários vai facilitar a escolha da melhor medida de reabilitação para as envolventes das respetivas tipologias. Os dois cenários definidos para estudo são a "melhor performance energética" (cenário A) e o "menor custo cumprindo o regulamento energético" (cenário B). Em ambos vai são calculadas as necessidades energéticas finais para as envolventes.

4.8.1. Situação Atual

A situação atual representa todos os edifícios residenciais no bairro de Alfama no seu estado atual, sem qualquer tipo de medidas de melhoria da eficiência energética e caracteriza-os quanto as suas necessidades energéticas na estação de aquecimento e de arrefecimento. A tabela 4.20 mostra as necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento de espaços para cada tipologia. Esta análise da situação atual serviu de base de comparação com os restantes cenários e vai permitir calcular a diferença de necessidades entre cenários. A tabela apresenta que as maiores necessidades nominais de aquecimento estão associadas às tipologias 1 e 2 e as que têm mais necessidade de arrefecimento são as tipologias 1, 2 e 3.

Tabela 4. 20. Necessidades nominais de energia da situação atual

Tipologia Alfama	Necessidades Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)
TP1	167,7	57,6
TP2	120,1	33,1
TP3	89,8	35,8
TP4	76,8	14,9
TP5	75,5	31,7
TP6	55,5	12,9

4.8.2. Cenário A - “*melhor desempenho energético*”

Neste cenário os edifícios incluídos nas tipologias, são reabilitados com a implementação de materiais de isolamento escolhidos por terem o melhor desempenho energético. Esta medida de melhoria é aplicada em todas as envolventes e, neste cenário, é usado apenas o material de isolamento ou medida que têm o coeficiente de transmissão térmica mais baixo. Para este processo de reabilitação foram usadas diferentes soluções para cada tipo de envolvente. As medidas para cada componente foram testadas isoladamente e depois de forma agregada.

No caso da cobertura, a medida testada foi o isolamento térmico em poliestireno expandido denominado de EPS 12 que possui um coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,28 W/m². Na tabela 4.21 estão representadas as necessidades nominais energéticas de cada tipologia na cobertura e as percentagens de redução energética entre este cenário

(A) e a situação atual. Para as necessidades energéticas de aquecimento notou-se uma redução acentuada com a aplicação deste tipo de cobertura. Os edifícios da TP1 e a TP2 foram os que reagiram melhor a esta melhoria nas coberturas. Quanto as necessidades de arrefecimento, a redução energética também é evidente, principalmente na TP2 e na TP4. Os resultados obtidos podem ser justificados pelo uso de um isolamento térmico eficaz e com um valor U baixo.

Tabela 4. 21. Necessidades energéticas associadas a melhoria da cobertura para o cenário A

Tipologia Alfama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	Redução (%) Nic	Redução (%) Nvc
TP1	101	36	40	37
TP2	57	13	53	61
TP3	68	29	24	20
TP4	56	9	26	42
TP5	65	28	14	11
TP6	45	10	19	26

O mesmo foi feito com as janelas onde foi testada caixilharia alumínio com vidro baixa emissividade (com corte térmico) como medida de melhoria. Esta solução, denominada de “CX AL LE CT”, tem um valor U de 1,20 W/m². A tabela 4.22 mostra as necessidades das tipologias depois de testada a alteração das janelas. Verificou-se uma redução percentual pequena, para Nic e Nvc, isto porque a necessidade de energética, com a implementação dos novos envidraçados, continua a ser elevada.

Tabela 4. 22. Necessidades energéticas associadas a melhoria nos envidraçados para o cenário A

Tipolo- gia Alfama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	144	50	14	13
TP2	120	32	0	3
TP3	75	28	16	20
TP4	71	15	7	-1
TP5	61	25	19	22
TP6	51	13	7	2

Nas paredes testou-se o isolamento pelo interior de polistireno expandido, EPS 15, como medida de melhoria. Esta solução apresenta um valor U de 0,21 W/m² que é o valor mais baixo de todos os métodos de isolamento. A tabela 4.23 apresenta as necessidades energéticas e as suas reduções percentuais. Quanto as necessidades de

aquecimento, notou-se uma redução acentuada em todas as tipologias. Este acontecimento deve-se ao facto de o isolamento EPS ser um bom material de isolamento. Também se deve ter em consideração a implementação do isolamento pelo interior, que é um método de isolamento mais eficaz que os restantes e com maior aplicabilidade no contexto d bairros históricos e edifícios com proteções especiais da envolvente exterior. Para a Nvc não surgiu um processo de diminuição das necessidades, o oposto até resultou nalguns casos com os edifícios a precisarem de mais energia para alcançarem o conforto térmico. Isto resulta de um balanço que há que ter em conta do impacto das medidas no aquecimento e arrefecimento, de forma a que se consiga escolher a melhor opção global.

Tabela 4. 23. Necessidades energéticas associadas a melhoria nas paredes para o cenário A

Tipologia Al-fama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	105	57	37	1
TP2	65	37	46	-11
TP3	43	36	52	0
TP4	29	17	62	-11
TP5	31	32	59	0
TP6	18	15	68	-13

Por último, analisaram-se as necessidades nominais das tipologias depois de aplicados as melhorias em todas as envolventes e comparou-se com a situação atual presente nos edifícios. A tabela 4.24 mostra as necessidades de aquecimento das envolventes e verificou-se um impacto elevado das melhorias de eficiência energética mostrando as vantagens de renovações completas dos edifícios. A Nvc, neste cenário, sofreu alterações elevadas em todas as tipologias. A taxa de redução é elevada, o que significa que a aplicação do isolamento em todas as envolventes é muito eficaz porque a procura de energia para o conforto térmico diminuiu quase para cem por cento para algumas tipologias (TP2). Para alcançar o conforto térmico no Verão a procura de energia é sempre menor e, neste cenário, acontece o mesmo. A redução da Nvc é mais baixa em todas as tipologias, mais acentuada nas tipologias 4 e 6. Para a Nvc notou-se que a aplicação dos materiais de isolamento em todas as envolventes teve um impacto acentuado na redução da procura energética.

Tabela 4. 24. Necessidades nominais de energia associadas a melhoria em todas as envolventes para o cenário A

Tipologia Al-fama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	15,8	28,6	91	50
TP2	6,5	15,3	95	54
TP3	8,3	21,6	91	40
TP4	5,2	11,0	93	26
TP5	8,0	21,5	89	32
TP6	3,8	11,7	93	10

Na figura 4.15 é feita a comparação entre a as necessidades energéticas de aquecimento entre o cenário A e a situação atual. O gráfico mostra o que foi analisado anteriormente na tabela 4.24 relativamente às reduções das necessidades energéticas. O gráfico mostra uma diferença muito significativa na necessidade energética para todas as tipologias.

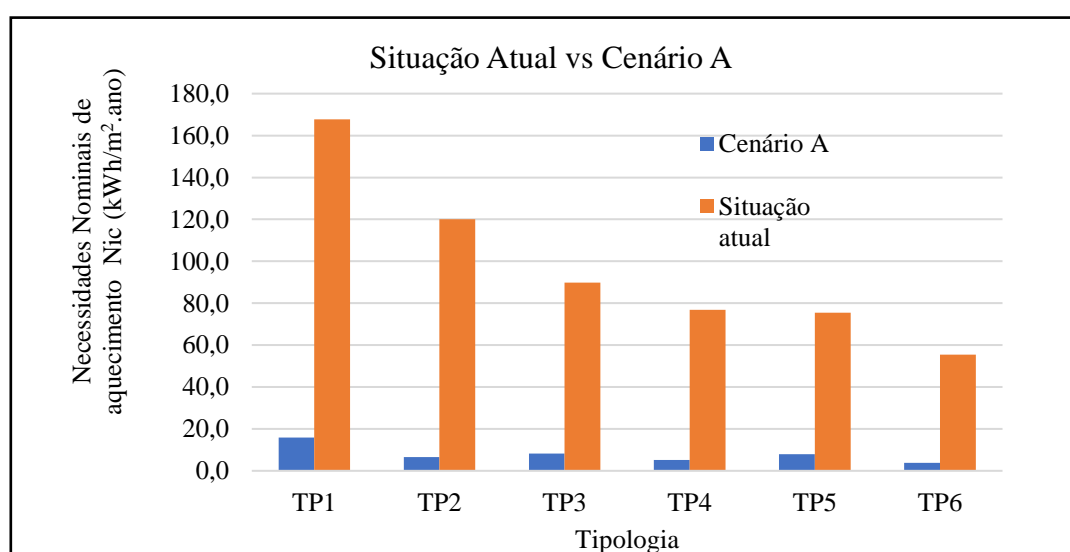


Figura 4. 15. Comparação das necessidades de aquecimento entre o Cenário A e a situação atual

A figura 4.16 mostra um gráfico que faz a comparação das necessidades de arrefecimento depois da aplicação combinada das várias medidas de melhoria nas envolventes do cenário A e a situação atual. Para todas as tipologias notou-se uma redução percentual de Nvc, mais notório na TP1, TP2 e TP3.

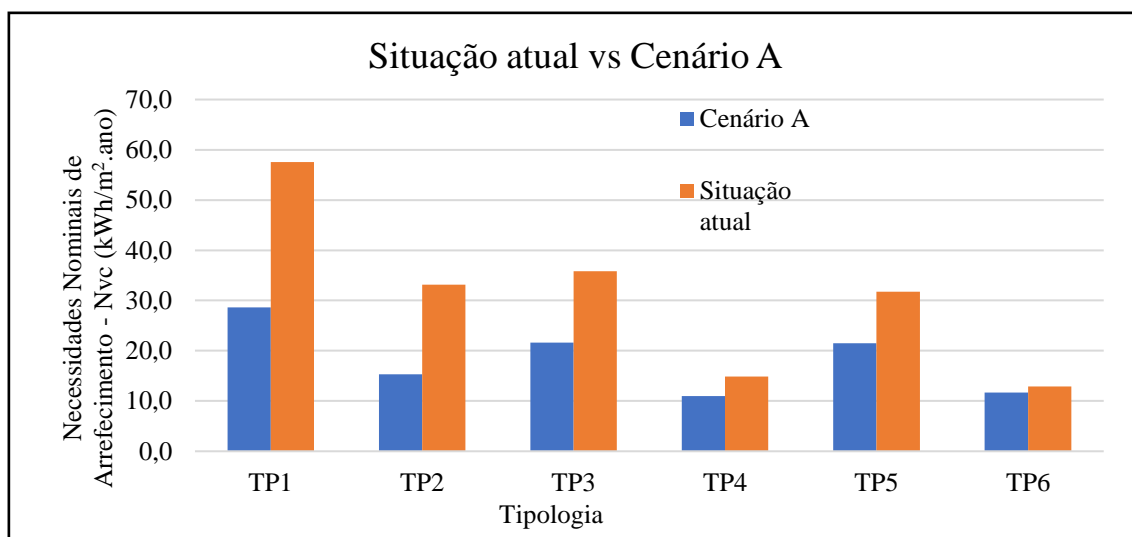


Figura 4. 16. Comparação das necessidades de arrefecimento entre o Cenário A e a situação atual

4.8.3. Cenário B - “menor custo”

No cenário de “menor custo” foram testadas as medidas de eficiência energética mais baratas para cada envolvente, independentemente das restantes características. Para a cobertura foi usado o modelo LM 10 que se trata de isolamento térmico em feltro isolante em lã mineral com um coeficiente de isolamento térmico de $0,42 \text{ W/m}^2$ e com custo de investimento igual a $7,21 \text{ €/m}^2$. A tabela 4.25 mostra as necessidades nominais quando é utilizado este isolamento. Em comparação com a situação atual, notou-se uma redução percentual das necessidades energéticas com a implementação do isolamento das coberturas. Para a Nic, os edifícios das tipologias 1 e 2 usufruem do conforto térmico de uma forma mais eficaz com a diminuição da procura energética. Nas necessidades de aquecimento, verificou-se a mesma situação para as tipologias 2 e 4.

Tabela 4. 25. Necessidades energéticas associadas a melhoria na cobertura para o cenário B

Tipologia Alfama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	104	37	38	36
TP2	60	14	50	58
TP3	69	29	23	19
TP4	57	9	25	40
TP5	65	28	14	10
TP6	45	10	18	25

Para os envidraçados dos edifícios, neste cenário optou-se por um isolamento caixilharia PVC com vidro *standard* (CX PVC STD) que custa 350 €/m² e tem um coeficiente de transmissão térmica igual a 2,20 W/m². “CX PVC STD” é o isolamento mais barato, mas com um valor de coeficiente de transmissão térmica bastante elevado. As necessidades energéticas estão presentes na tabela 4.26. Nas Nic, a introdução das medidas de melhoria não teve um impacto tão grande como esperado. Este fundamento está comprovado nas percentagens de redução que não ultrapassam os 13% para todas as tipologias. O mesmo acontece com Nvc, cuja a as necessidades energéticas para este cenário são superiores á situação atual. Esta comprovado na nas reduções percentuais que mostram valores negativos. Estes valores evidenciam uma maior procura energética em todas as tipologias com a aplicação deste envidraçado.

Tabela 4. 26. Necessidades nominais de energia associadas a melhoria nos envidraçados para o cenário B

Tipologia Alfama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m².ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m².ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	152	62	10	-7
TP2	113	35	6	-4
TP3	81	37	10	-2
TP4	69	16	10	-8
TP5	67	33	11	-4
TP6	48	14	13	-9

Neste cenário, é implementado o modelo EPS 6 de isolamento pelo interior das paredes de polistireno expandido. Este isolamento é caracterizado por ser o menos dispendioso e dos materiais que têm um coeficiente de transmissão térmica mais elevado com valor de 0,52 W/m². Esta medida tem um custo de 35,36 €/m². Na tabela 4.27 estão representadas as necessidades energéticas, neste cenário, das paredes quando foram sujeitas as medidas de melhoria. Nas Nic, notou-se uma redução acentuada das necessidades e, por consequente, uma maior procura energética. As tipologias mais notórias são as TP4 e TP6. Nas necessidades de arrefecimento, ocorreu o oposto com a implementação deste material de isolamento. As necessidades permaneceram as mesmas (TP3 e TP5) ou aumentaram para as tipologias 2, 4 e 6. A tipologia 1 é única que evidencia uma diminuição das necessidades energéticas de arrefecimento. Os resultados negativos para a Nvc resultam no impacto da medida de reabilitação nas paredes durante o Verão aumentando as necessidades.

Tabela 4. 27. Necessidades energéticas associadas a melhoria na parede para o cenário B

Tipologia Alfama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	113	57	32	1
TP2	72	36	40	-9
TP3	49	36	46	0
TP4	35	16	54	-8
TP5	37	32	51	0
TP6	22	14	60	-10

Para finalizar, comparou-se o resultado das necessidades nominais de todas as medidas agregadas das envolventes deste cenário com a situação atual. A tabela 4.28 mostra as necessidades nominais de aquecimento para as tipologias. O cenário B, quando foram implementadas as medidas de melhoria para todas as envolventes, analisou-se uma elevada redução da Nic em todas as tipologias. A mais relevante é a tipologia 2 que apresenta uma taxa de redução de 90%. Com estes valores, a taxa de procura energética é bastante reduzida. Ao analisar-se a Nvc, as reduções das necessidades existem, mas com valores mais baixos que a Nic. A tipologia 2 é mais relevante nesta envolvente.

Tabela 4. 28. Necessidades energéticas associadas a melhoria em todas as envolventes para o cenário B

Tipologia Alfama	Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	Nec. Nominais de Arrefecimento - Nvc (kWh/m ² .ano)	Redução Nic (%)	Redução Nvc (%)
TP1	34	42	80	27
TP2	12	18	90	46
TP3	20	30	78	15
TP4	11	12	86	22
TP5	19	30	75	5
TP6	8	13	86	2

Na figura 4.17 é feita a comparação entre a as necessidades energéticas de aquecimento entre o cenário B e a situação atual. O gráfico mostra o que foi analisado anteriormente na tabela 4.9 relativamente às reduções das necessidades energéticas descreve uma diferença acentuada na necessidade energética para todas as tipologias.

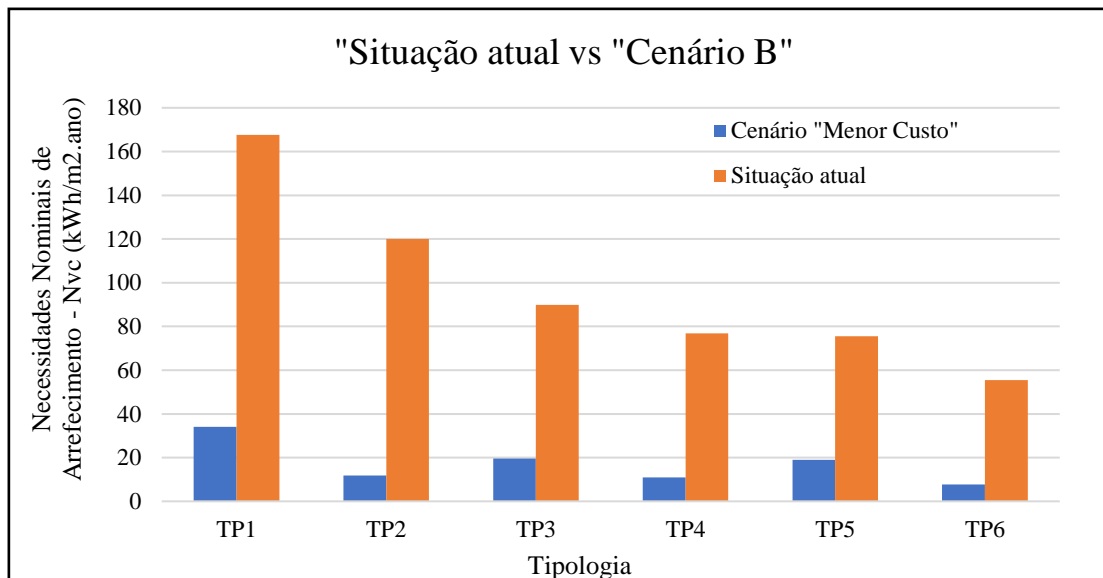


Figura 4.17. Comparação das necessidades de aquecimento entre o Cenário B e a situação atual

A figura 4.18 mostra um gráfico que faz a comparação das necessidades de aquecimento depois da aplicação combinada das várias medidas de melhoria do cenário B e a situação atual. Para todas as tipologias notou-se uma redução percentual de Nvc, mais notório na TP1, TP2.

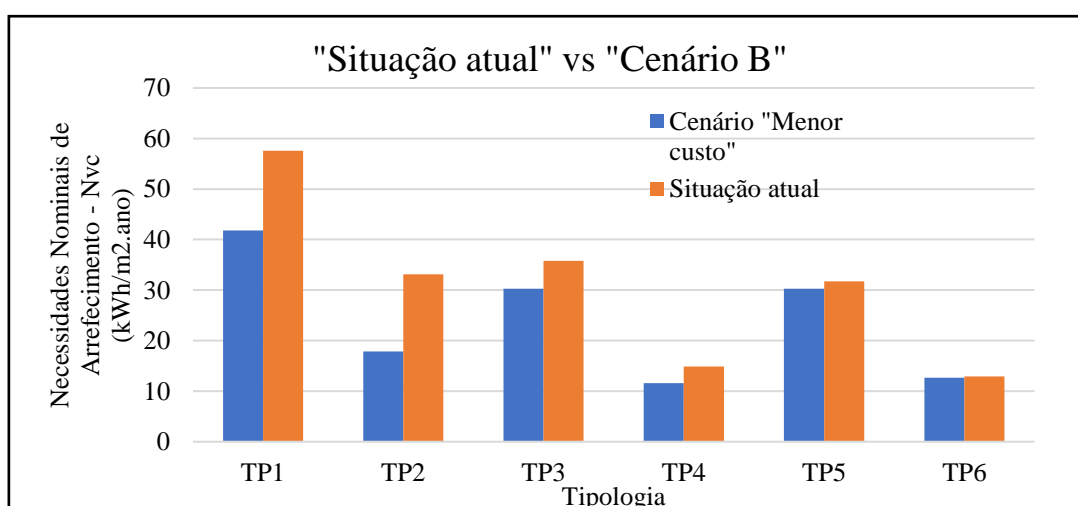


Figura 4.18. Comparação das necessidades de aquecimento entre o Cenário B e a situação atual

4.9. Necessidades de energia útil total para aquecimento e arrefecimento no Bairro de Alfama (3ª Fase – 3A)

O passo seguinte deste trabalho foi o cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento para o total do edificado de Alfama. Os dados base do número de edifícios foram obtidos no CENSOS 2011 (INE, 2011), e foram analisados os números de edifícios e de alojamentos em cada tipologia que foi criada. O cálculo das necessidades totais foi feito para os dois cenários e para a situação atual. Os alojamentos estão assinalados na tabela 4.29.

Tabela 4.29. Número de edifícios e de alojamentos em cada tipologia (INE, 2011)

Tipologia Alfama	Nº de edifícios	Nº de Alojamentos
TP1	170	619
TP2	293	552
TP3	136	1316
TP4	162	1320
TP5	16	946
TP6	53	1251

De seguida calcularam-se as necessidades total (Nic_{final} ; Nvc_{final}) de cada uma das tipologias, [kWh/ano], através da multiplicação das necessidades nominais (Nic ; Nvc) retirados do modelo *BldAdaPT*, [kWh/m².ano], com o número de alojamentos e com a área total média ($A_{TotalMédia}$) das envolventes anteriormente calculadas em cada tipologia, [m²]. O seguinte cálculo está representado nas equações (4.13 e 4.14) que representam o cálculo das necessidades totais de aquecimento e de arrefecimento (ADENE, 2020).

$$Nic_{final} = Nic \times N^{\circ}Alojamentos \times A_{TotalMédia} \quad [kWh/ano] \quad \text{(Equação 4.13)}$$

$$Nvc_{final} = Nvc \times N^{\circ}Alojamentos \times A_{TotalMédia} \quad [kWh/ano] \quad \text{(Equação 4.14)}$$

O passo seguinte foi comparar os resultados obtidos das necessidades energéticas totais das envolventes entre os dois cenários e definir o cenário ideal para cada tipo de componente construtiva dos edifícios.

4.9.1. Situação atual

Para a situação atual em que se encontram os alojamentos em Alfama, foram calculadas as necessidades totais de aquecimento e arrefecimento para as respetivas tipologias. Os resultados das necessidades mostram o estado dos edifícios incluídos nas freguesias sem qualquer tipo de medida de reabilitação aplicada. A figura 4.19 compara as duas necessidades entre as tipologias. O resultado final mostra que existe uma necessidade energética maior de aquecimento nos diferentes tipos de habitações. É importante referir que a necessidade energética de aquecimento na tipologia 3 é acentuada devido ao elevado número de alojamentos.

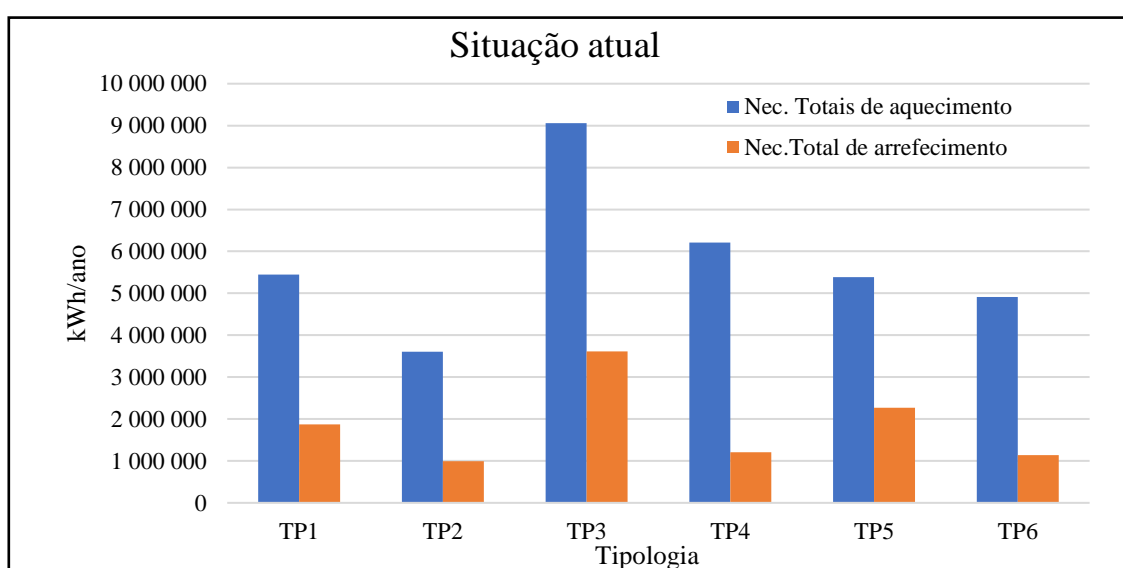
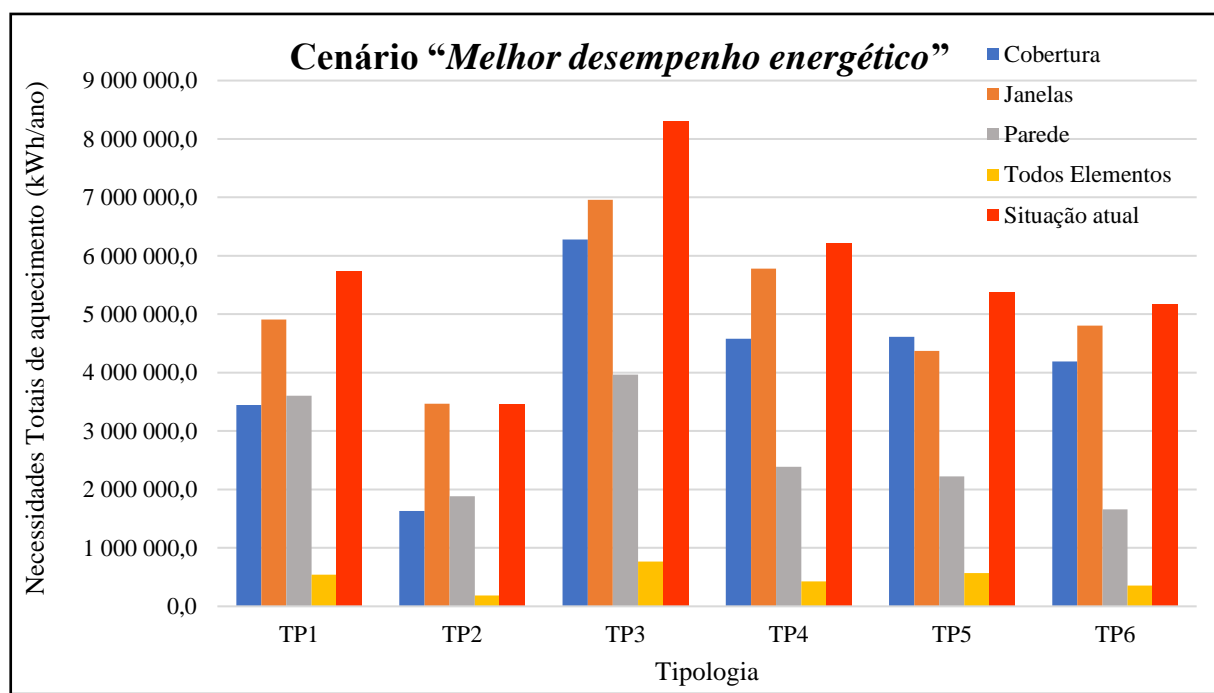


Figura 4. 19. Necessidades energéticas totais para as tipologias na situação atual

4.9.2. Cenário A – “Melhor desempenho energético”

No cenário A aplicaram-se as medidas de melhoria mais eficazes para os edifícios como foi referido anteriormente. A figura 4.20 faz a comparação das necessidades totais das diferentes tipologias do cenário A com os resultados da situação atual presente nos edifícios do bairro de Alfama. O primeiro gráfico mostra os valores das necessidades totais de aquecimento das envolventes nos dois cenários. Verificou-se que a necessidade total de aquecimento presente na situação atual é mais elevada que cada envolvente do cenário A. As medidas de melhoria em cada envolvente provocaram um impacto positivo nas necessidades energéticas em todas as tipologias. O impacto é mais notório quando são aplicados isolamentos em todos os elementos. Os valores podem ser justificados pela aplicação do material de isolamento ideal para a época de Inverno. No segundo gráfico estão representadas as necessidades totais de arrefecimento em cada tipologia nos dois

cenários. No cenário A, o valor das necessidades, no geral, é mais baixo porque se trata da época de Verão e verificou-se que estão presentes envolventes que necessitam de mais energia que a situação atual. A parede é a envolvente que apresenta a maior taxa de procura energética em todas as tipologias. Estes valores representam a falta de eficiência das medidas de melhoramento implementadas nas paredes. O envidraçado inserido na medida de melhoria também provoca um aumento nas necessidades totais das tipologias 2, 4 e 6. O motivo pode ser justificado quando a substituição do envidraçado provoca a redução do fator solar do vidro (que resulta na redução dos ganhos solares térmico e consequentemente na redução das necessidades de energia para arrefecimento) que tem menos impacto que a redução do valor U do caixilho (que resulta em menores perdas térmicas e maiores necessidade de energia para arrefecimento).



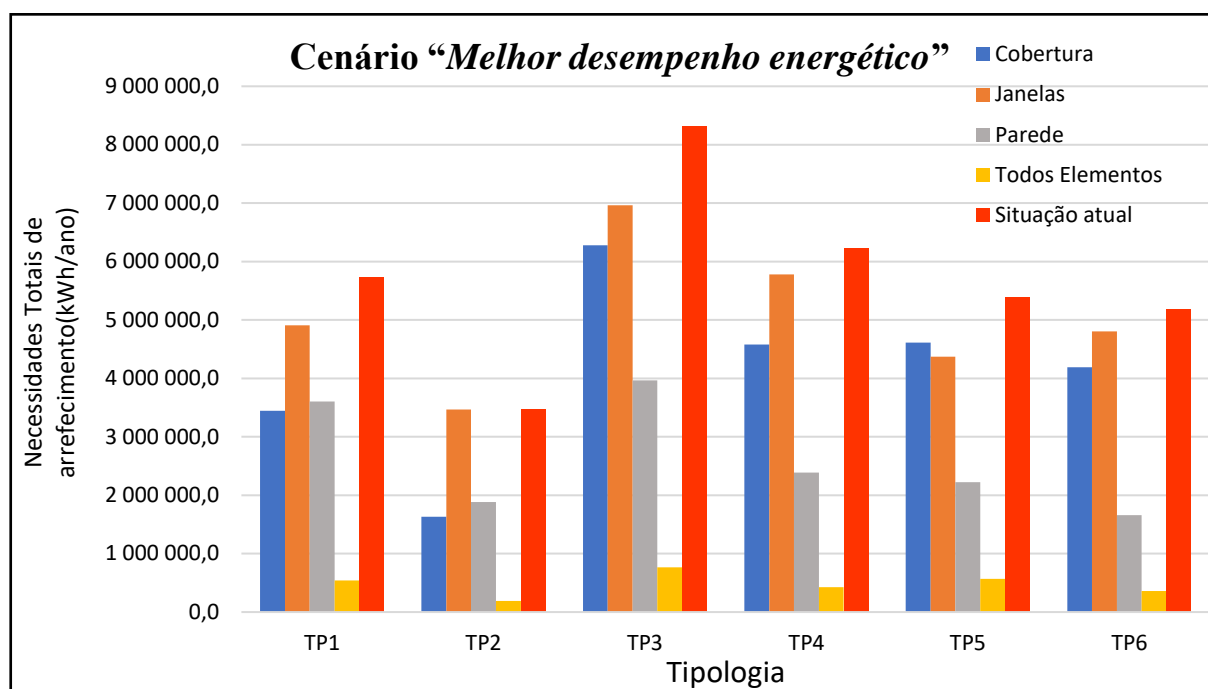


Figura 4. 20. Necessidades finais de aquecimento (em cima) e arrefecimento (em baixo) de cada envolvente incluída no cenário A

4.9.3. Cenário B – “menor custo”

Para o cenário B, foram implementadas medidas de melhoria menos dispendiosas. Em todas as envolventes foi aplicado o isolamento mais barato, pondo de parte o material mais eficaz. A figura 4.21 faz a comparação das necessidades totais das diferentes tipologias do cenário B com os resultados da situação atual presente nos edifícios do bairro de Alfama. O primeiro gráfico mostra os valores das necessidades totais de aquecimento das envolventes nos dois cenários. Verificou-se que a necessidade total de aquecimento presente na situação atual é mais elevada que cada envolvente do cenário B. As medidas de melhoria em cada envolvente provocaram um impacto positivo nas necessidades energéticas em todas as tipologias. O impacto é mais notório quando são aplicados isolamentos em todos os elementos. A aplicação de novos envidraçados são a medida que causa maior taxa de necessidades energéticas porque esta medida de reabilitação é reconhecida pelo menor custo e não pelo melhor valor U. No segundo gráfico estão representadas as necessidades totais energéticas em cada tipologia nos dois cenários. No cenário B, o valor das necessidades, no geral, é mais baixo porque se trata da época de Verão e verificou-se que estão presentes envolventes que necessitam de mais energia que a situação atual. O impacto das medidas nas paredes e nos envidraçados e nas coberturas, quando aplicadas em simultâneo, são as que apresentam a maior taxa de

redução energética em quase todas as tipologias. Estes valores mostram uma maior eficiência das medidas de melhoria com mais baixo custo em relação à situação atual.

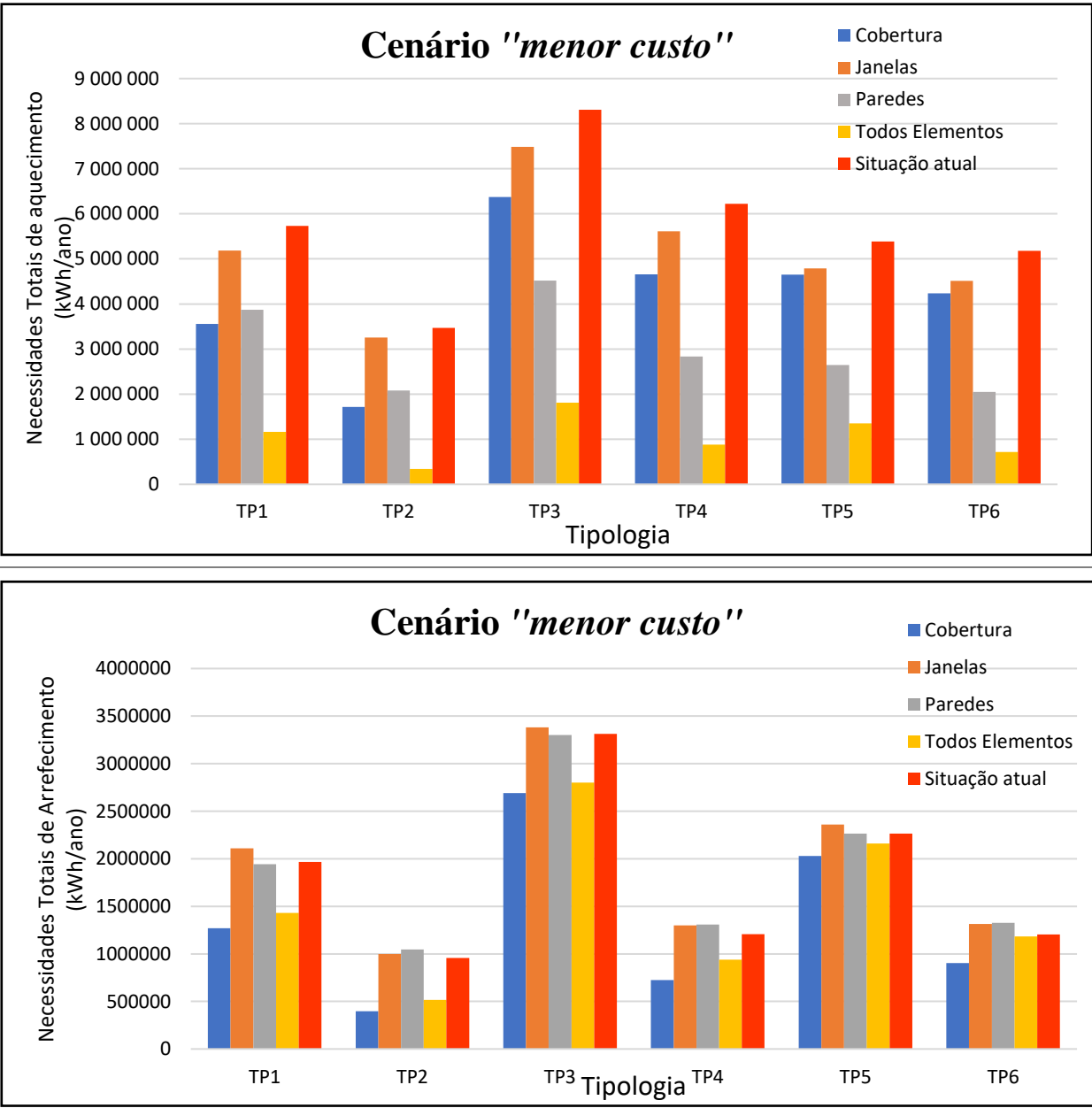


Figura 4. 21. Necessidades finais de aquecimento (em cima) e arrefecimento (em baixo) de cada envolvente incluída no cenário

4.9.4. Mapeamento das necessidades de energia útil total de aquecimento e arrefecimento ao nível das subsecções em cada cenário

Nesta fase, foram determinadas as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento ao nível das subsecções de cada freguesia. As necessidades energéticas são calculadas a partir da aplicação combinada das várias medidas de melhoria nas envolventes. Este processo permite avaliar quais são as subsecções com edifícios que requerem mais energia para a situação atual e o potencial impacto de melhoria para os dois cenários.

Situação Atual

Para a situação atual, verificou-se uma elevada necessidade de aquecimento em todos os edifícios que estão presentes nas subsecções. No entanto notaram-se valores mais elevados em 9% das subsecções, maioritariamente localizadas na freguesia de São Vicente de Fora. Os alojamentos com mais problemas energéticos estão localizados nesta freguesia que apresenta edifícios antigos sem qualquer tipo de reabilitação. A figura 4.22 mostra mapeamento dos valores das necessidades de aquecimento dos edifícios presentes nas subsecções.

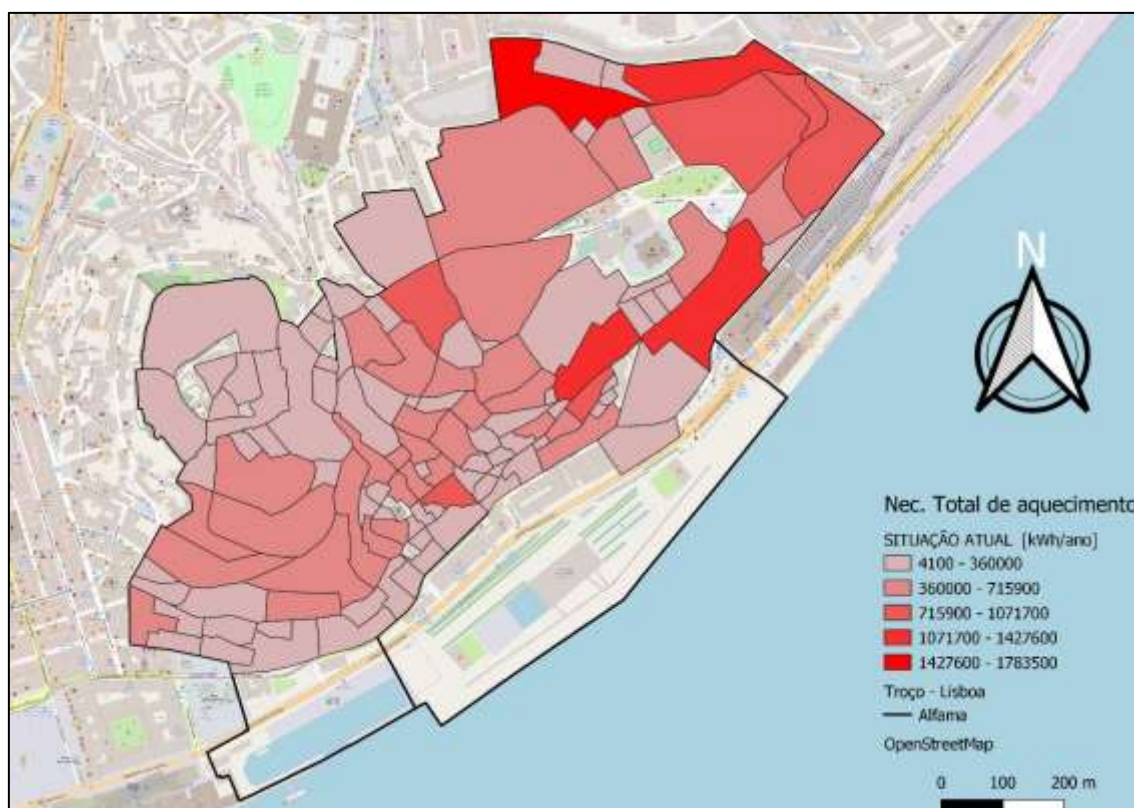


Figura 4.22. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento em Alfama para a situação atual [kWh/ano]

As necessidades energéticas associadas a arrefecimento de espaços na situação atual apresentam valores elevados em todos os edifícios presentes nas subsecções. No entanto, em comparação com os valores das necessidades de aquecimento, este apresenta valores mais elevados porque é preciso mais energia para manter os edifícios arrefecidos durante o Verão. 15% de subsecções em Alfama, incluídas nas freguesias de Santiago, S. Miguel, S. Estevão, S. Vicente de Fora e Sé apresentam maiores necessidades energéticas associadas à combinação das tipologias existentes e do número de edifícios.

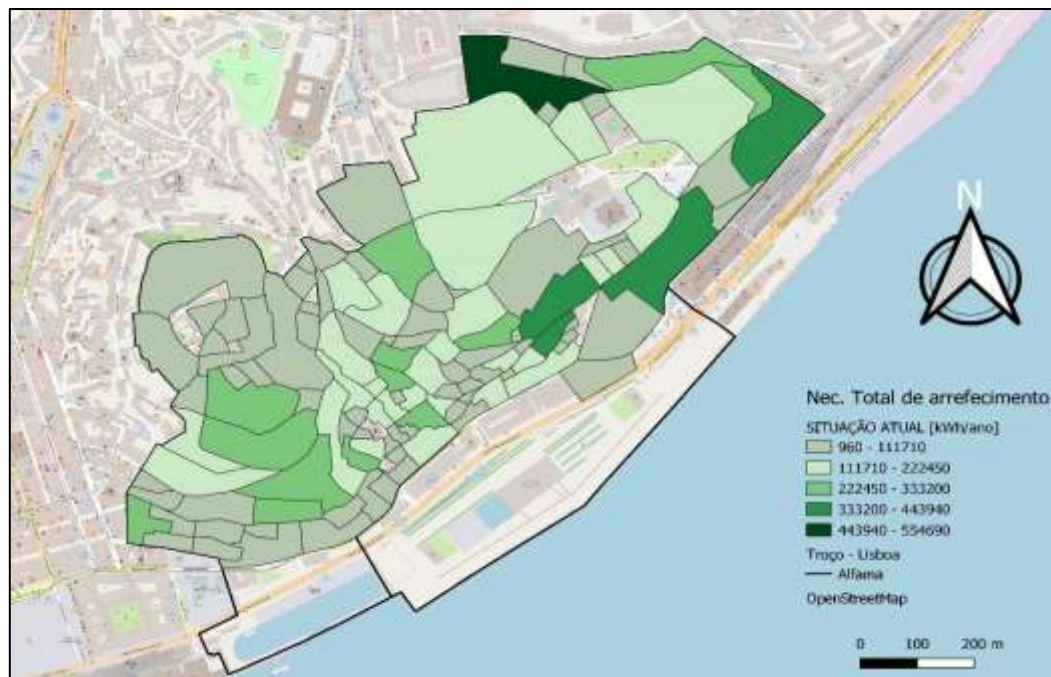


Figura 4. 23. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento em Alfama para a situação atual[kWh/ano]

Cenário A

No cenário A, as necessidades energéticas são calculadas a partir da aplicação combinada das várias medidas de melhoria nas envolventes. Neste cenário os valores das necessidades de aquecimento são menores que os valores registados na situação atual devido as medidas de melhoria aplicadas nos edifícios o que significa que estas medidas apresentam impactos positivos nos edifícios. Aproximadamente 16% das subsecções em Alfama registam comparativamente valores de necessidades energéticas mais elevadas (verde escuro no mapa). Estas subsecções estão incluídas nas freguesias Santiago, S. Miguel, S. Estevão, S. Vicente de Fora e Sé. As subsecções estão apresentadas na figura 4.24.

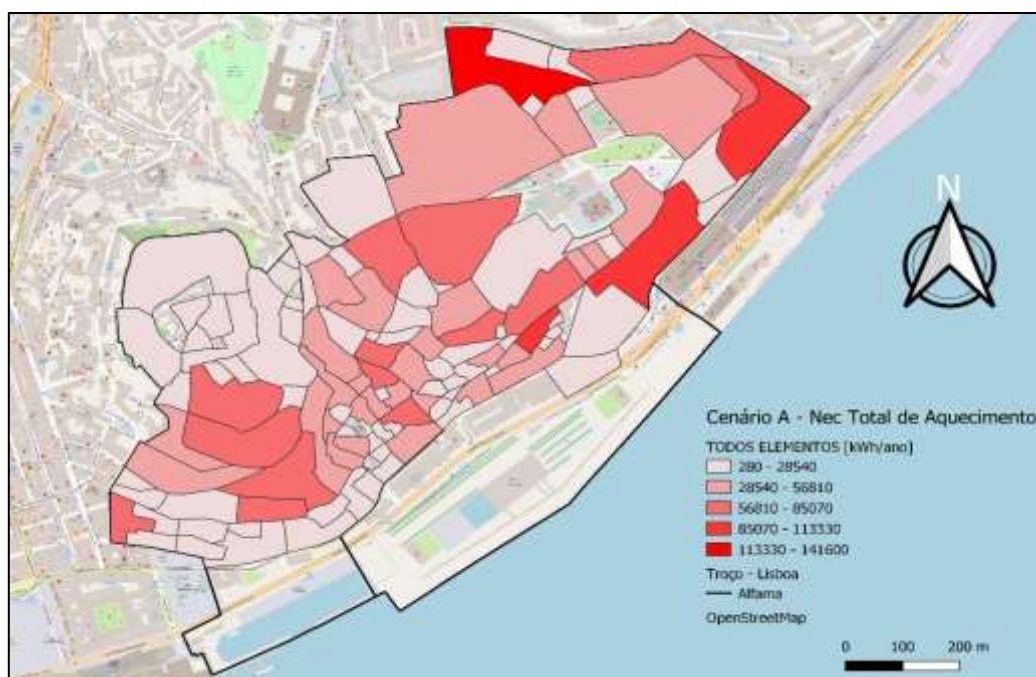


Figura 4. 24. Necessidade Total de aquecimento ao nível das subsecções [kWh/ano]

O mesmo acontece nas necessidades de arrefecimento que apresentam valores mais baixos em relação ao cenário atual, isto porque a aplicação das medidas de melhoria em simultâneo nos edifícios apresentou uma redução elevada das necessidades energéticas. No entanto, observa-se que 13% das subsecções mostram níveis energéticos elevados, dispersos pelas freguesias Santiago, S. Miguel, S. Estevão, S. Vicente de Fora e Sé. Os valores das necessidades estão na figura 4.25.

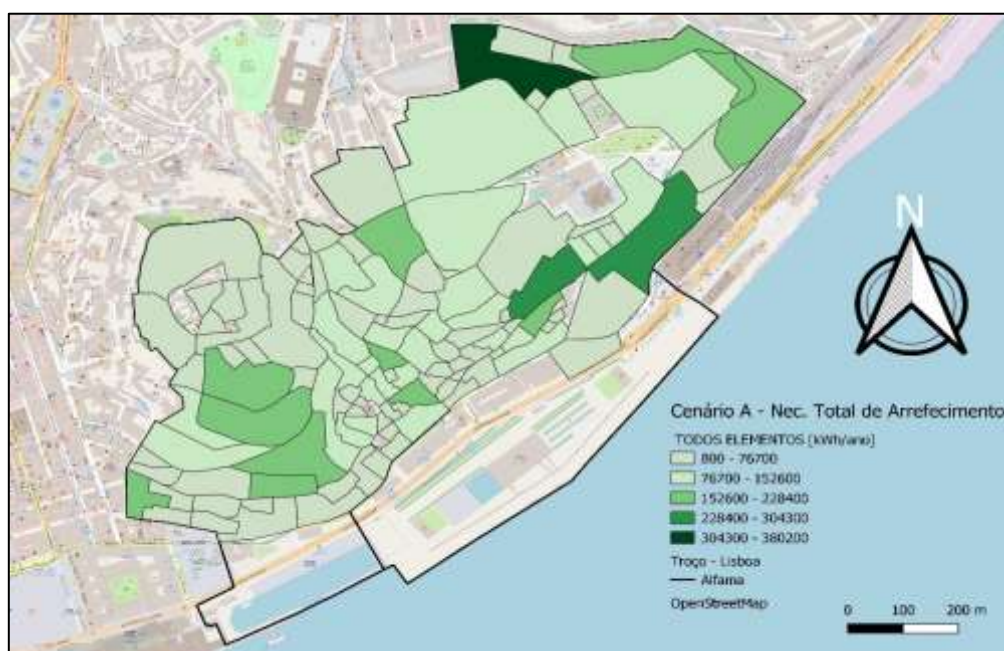


Figura 4. 25. Necessidade Total de aquecimento ao nível das subsecções [kWh/ano]

No cenário A, o impacto energético da aplicação das medidas das necessidades de aquecimento nas subsecções apresenta valores acentuados no qual 8% mostra valores mais elevados. Estes valores estão presentes nas freguesias de São Vicente de Fora e em Santo Estêvão. Quanto as necessidades de arrefecimento, notou-se um elevado impacto energético em várias subsecções. Cerca de 19% das subsecções presentes em Alfama revelam valores elevados do impacto das medidas. Os mapas dos impactos energéticos neste cenário estão localizados no anexo C. No mesmo anexo estão presentes os valores das necessidades energéticas devido à aplicação das medidas na envolventes, individualmente.

Cenário B

No cenário B, as necessidades energéticas são calculadas da mesma forma que o cenário A. Neste cenário as medidas de melhoria provocaram uma redução menos acentuada das necessidades energéticas. Nas necessidades de aquecimento, apenas 7% das subsecções mostram valores elevados devido ao período de construção falta qualidade dos edifícios incluídos nessas subsecções. A figura 4.26 apresenta as necessidades de aquecimento das subsecções para este cenário.

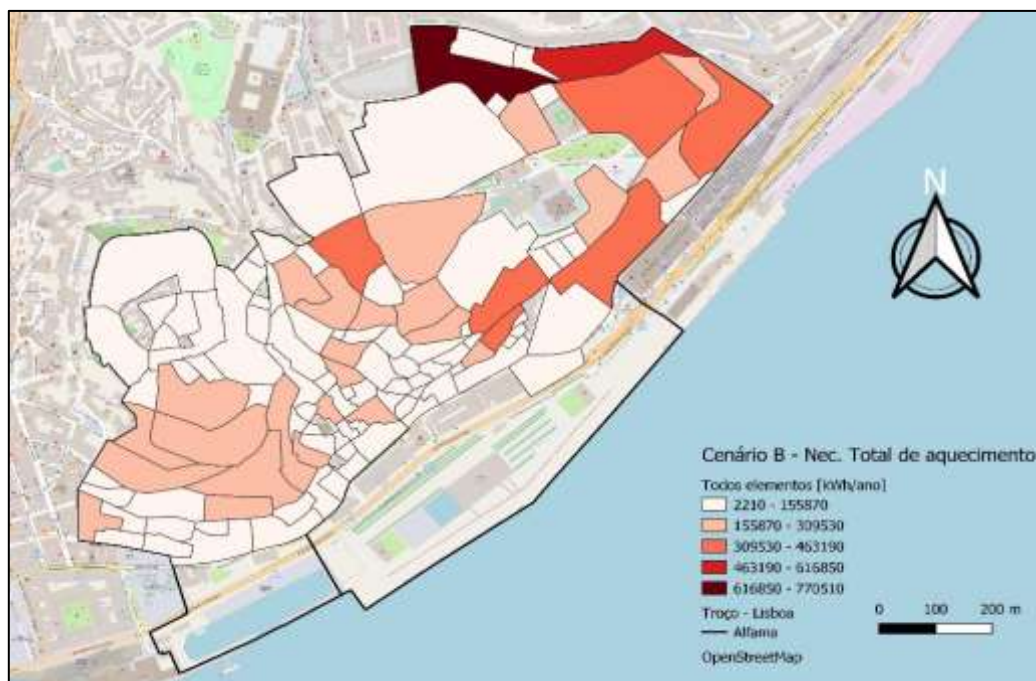


Figura 4. 26. Necessidades total de aquecimento no cenário B [kWh/ano]

Nas necessidades de arrefecimento notaram-se valores menores neste cenário em comparação com a situação atual o que significa que as medidas de melhoria aplicadas foram suficientes para reduzir as necessidades energéticas dos edifícios. A figura 4.27 apresenta as necessidades de aquecimento das subsecções para este cenário.

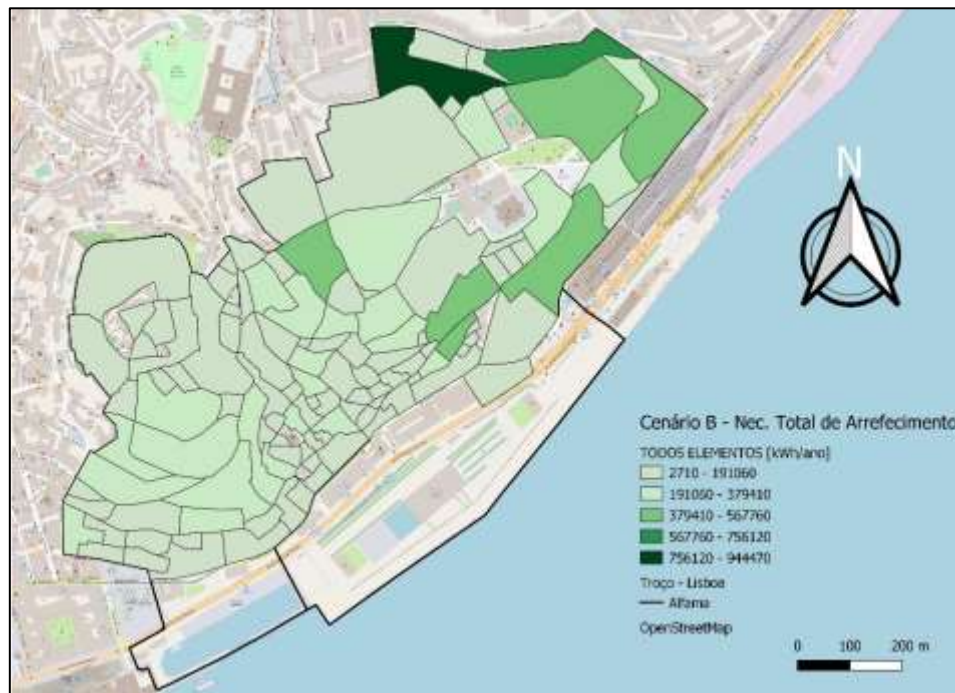


Figura 4. 27. Necessidades total de aquecimento no cenário B [kWh/ano]

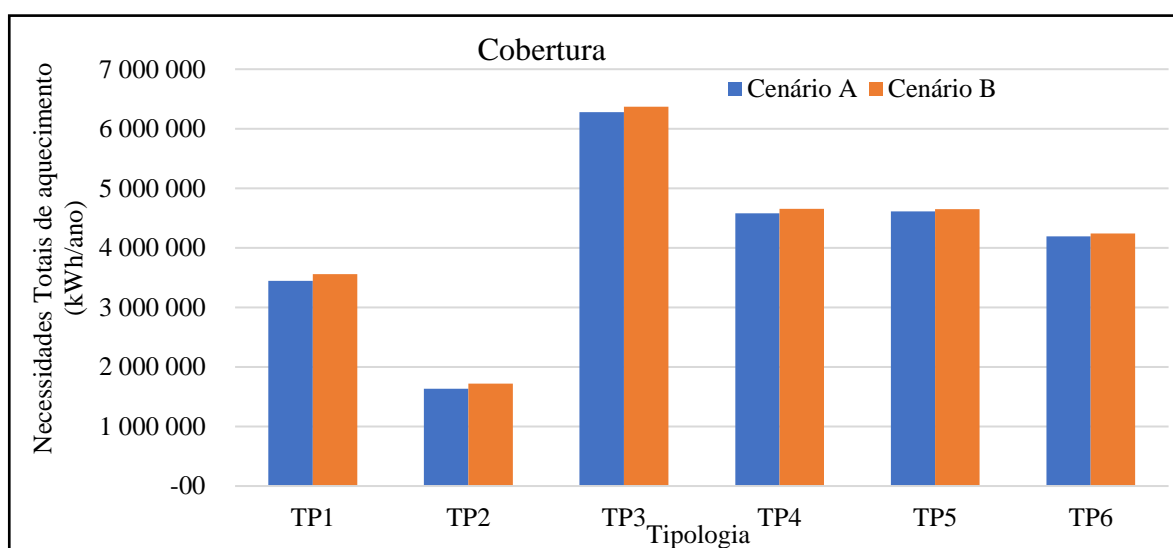
O cenário B revela valores de impacto energético nas necessidades de aquecimento mais baixos em comparação com o cenário A. Estes resultados revelam que as medidas de melhoria para o cenário B são menos eficientes. Verificou-se que apenas 7% das subsecções incluíram edifícios que tiveram impactos energéticos positivos. Conclui-se que as medidas de melhoria implementadas nos edifícios não são as ideais na época de Verão, havendo a necessidade de explorar no futuro o impacto orientado a cada combinação tipologia/subsecção. Os mapas dos impactos energéticos neste cenário estão disponíveis no anexo C. No mesmo anexo estão presentes os valores das necessidades energéticas de cada envolvente neste cenário.

4.10. Caracterização das necessidades energéticas das envolventes entre os dois cenários

O passo seguinte foi comparar os resultados obtidos do impacto das medidas nas necessidades energéticas entre os dois cenários e definir o cenário ideal para cada envolvente.

4.10.1. Cobertura

Nesta envolvente a *Nic* dos dois cenários são muito semelhantes com um ligeiro avanço para o cenário B, como se verifica no gráfico em cima, pertencente à figura 4.28. O mesmo acontece para a *Nvc* em todas as tipologias. No 2º gráfico verificou-se um menor impacto das medidas, embora muito pequeno, nas necessidades do cenário B. A medida do cenário B é 70% mais barata que a medida no cenário A, mas com uma diferença correspondente a um intervalo de 1% e 5 %, no aquecimento, e 1% e 7%, no arrefecimento. Com a análise destes resultados, compensa apostar na solução mais barata.



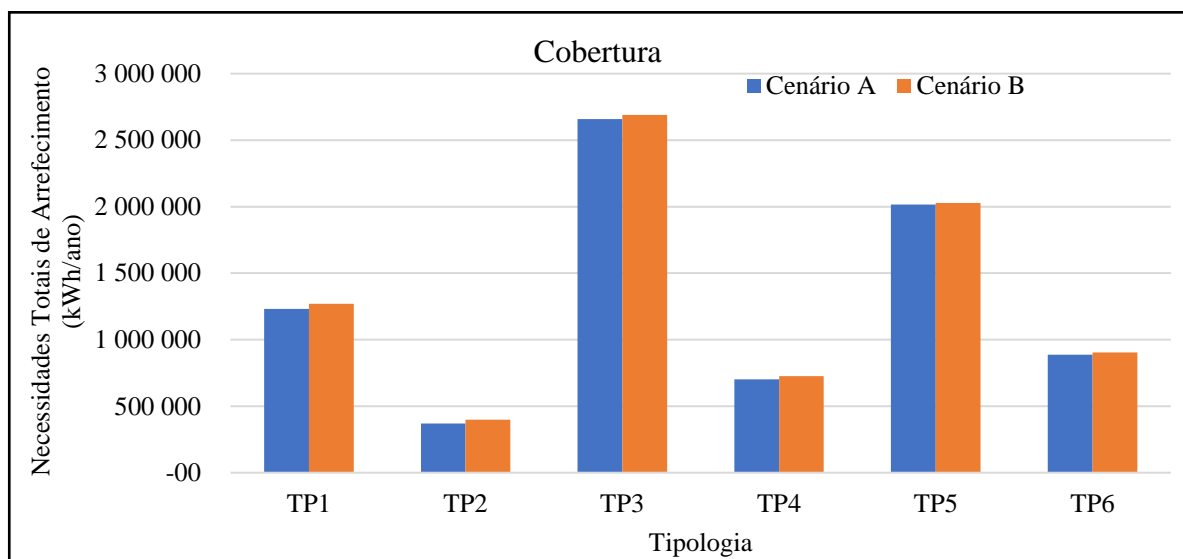


Figura 4. 28. Necessidade energética totais de aquecimento (em cima) e de arrefecimento (em baixo) para as coberturas nos dois cenários

4.10.2. Janelas

A figura 4.29 mostra as necessidades energéticas para os dois cenários. Nas necessidades de aquecimento apresentadas no gráfico em cima, verificou-se uma necessidade de aquecimento é maior no cenário A para as tipologias 2, 4 e 6. No cenário B verificou-se uma maior necessidade na tipologia 1, 3 e 5. Sendo assim, para a *Nic*, optou-se por aplicar o uso do cenário B para as tipologias 2, 4 e 6 no qual se aplica o isolamento de menor custo financeiro. Para as tipologias 1, 3, 5 implementa-se o cenário A no qual se aplica um envidraçado que resulta num melhor desempenho energética. O gráfico em baixo mostra as necessidades de arrefecimento resultantes das medidas de renovação de janelas nas tipologias. É visível que o impacto destas medidas resulta em maiores necessidades do cenário B em todas as tipologias, cerca de 18% numa visão global. Existem duas opções nesta situação: aplicar o cenário A, se o objetivo é manter o valor *Nvc* mais baixo, independentemente do custo; implementar o cenário B se se quer aplicar um material isolador de menor custo, mas com resultados contraditórios em termos das necessidades de energia em todas as tipologias.

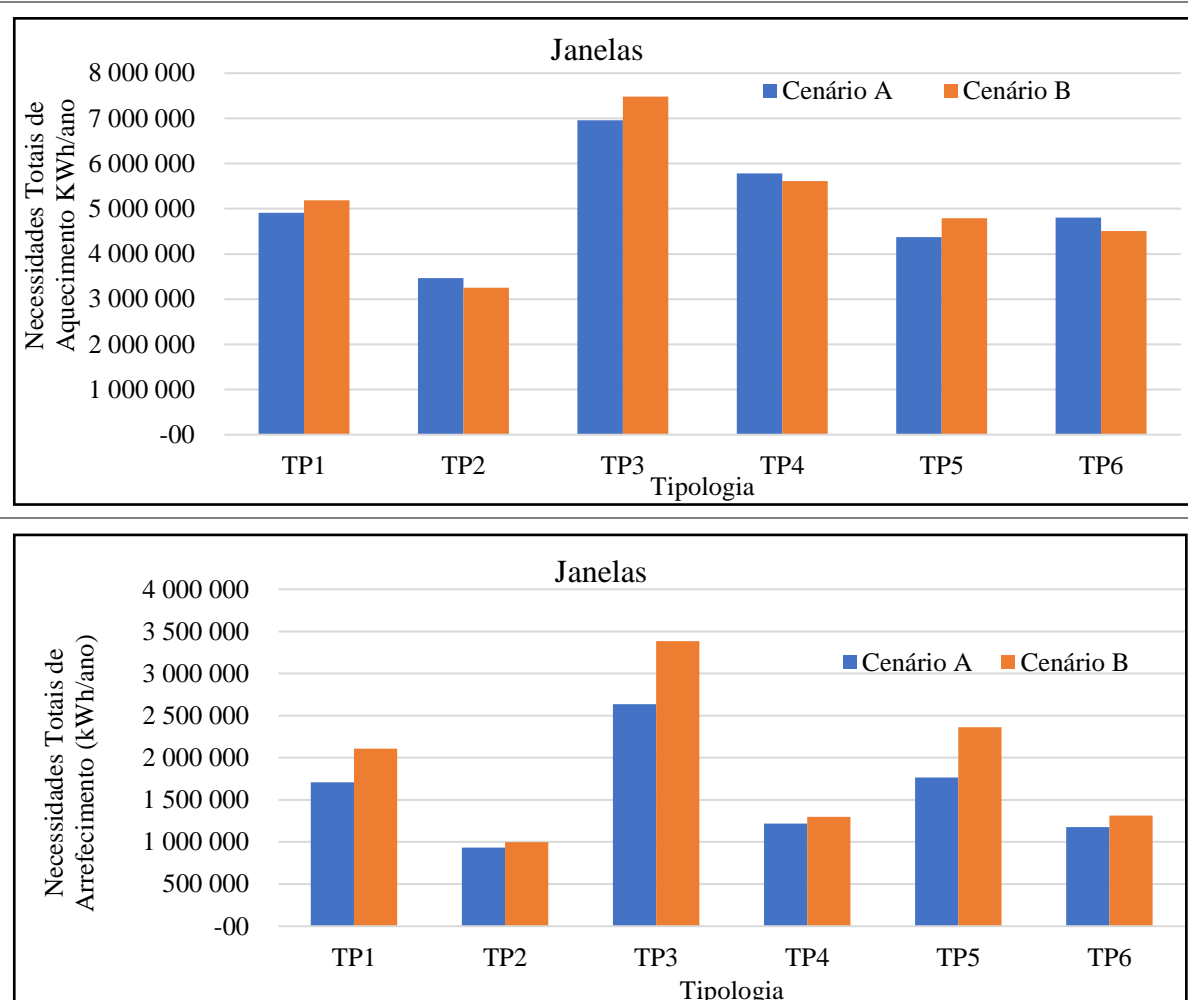


Figura 4.29. Necessidade energética totais de aquecimento (em cima) e de arrefecimento (em baixo) para as janelas nos dois cenários

4.10.3. Paredes

Nas paredes, o valor de N_{ic} , representado gráfico em cima da figura 4.30, mostra que se objetivo principal da intervenção consiste em reduzir mais as necessidades de aquecimento nas paredes, deve ser escolhido o cenário A que usa o material isolador ideal para as paredes. O cenário B é escolhido se o objetivo é reduzir os custos permitindo maiores valores das necessidades de aquecimento para todas as tipologias. Quanto N_{vc} , apresentado no gráfico em baixo, notou-se que os dois cenários mostram valores muito semelhantes para todas as tipologias. Com estes dados, faz sentido escolher o cenário B que atua energeticamente como o cenário A e tem um custo de investimento menor (32% menor). Esta opção é feita em todas as tipologias.

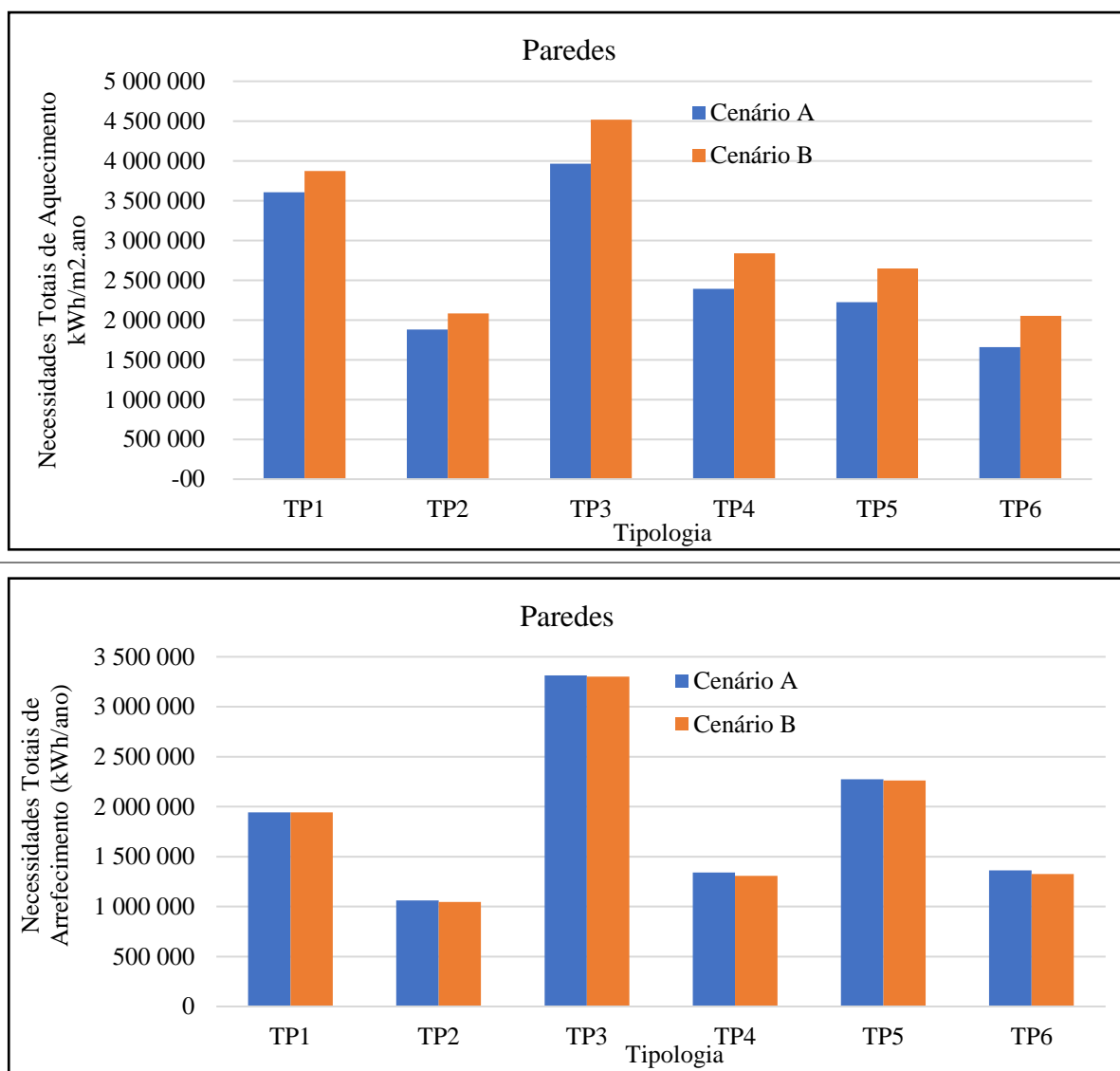


Figura 4. 30. Necessidade energética totais de aquecimento (em cima) e de arrefecimento (em baixo)

4.11. Custos de investimento das medidas de melhoria (3ª Fase - B)

Este passo consistiu em calcular o valor de investimento associado a cada cenário, das medidas de melhoria implementadas nas envolventes associadas a cada tipologia. Vão ser descritos os resultados obtidos para cada envolvente e são comparadas entre cada cenário com o intuito de escolher qual o cenário correto para cada envolvente.

O valor de investimento necessário, para cada cenário, das medidas de melhoria implementadas nas envolventes associadas a cada tipologia é caracterizado pela seguinte expressão (eq. 4.15).

$$Custo_{investimento} = Valor_{medida} \times N^{\circ}Alojamentos \times A_{TotalMédia} \quad [€] \quad \text{(Equação 4.15)}$$

Em que: o *Valormedida* representa o preço da medida de eficiência energética usado em cada envolvente [€/m^2]; *Nº Alojamentos* traduz o número de alojamentos presentes em cada tipologia; por último, *ATotalMédia* representa a área total média dos alojamentos associados a cada tipologia. Também vão ser calculados os custos das medidas em todas as envolventes. Para isso foram utilizadas todas as áreas das envolventes. Estes resultados estão visíveis nos próximos gráficos, denominados de “todos elementos”.

Após os cálculos realizados, obteve-se os custos para cada envolvente associada às tipologias. De seguida, são descritos os resultados obtidos para cada envolvente e são comparadas entre cada cenário com o intuito de escolher qual o cenário correto para cada envolvente.

4.11.1. Cenário A – “Melhor desempenho energético”

No cenário que envolve a melhor performance energética, foi calculado o investimento necessário para serem implementadas as medidas de melhoria para os edifícios do bairro de Alfama. O custo de investimento total está apresentado na figura 4.31. Para este cenário verificou-se que a medida de melhoria mais dispendiosa diz respeito às janelas com uma quantia de 67 milhões de euros. Individualmente verifica-se que as janelas são as que envolvem mais dinheiro e as coberturas são as menos dispendiosas em todas as tipologias. As tipologias que envolvem um maior investimento monetário são as tipologias 3 e 6. A tipologia 3 engloba 22.3 milhões de euros enquanto que a tipologia 6 necessita de 23.3 milhões de euros para reabilitar todos os edifícios. Para a reabilitação do bairro de Alfama para este cenário é necessário um investimento de aproximadamente 100 milhões de euros.

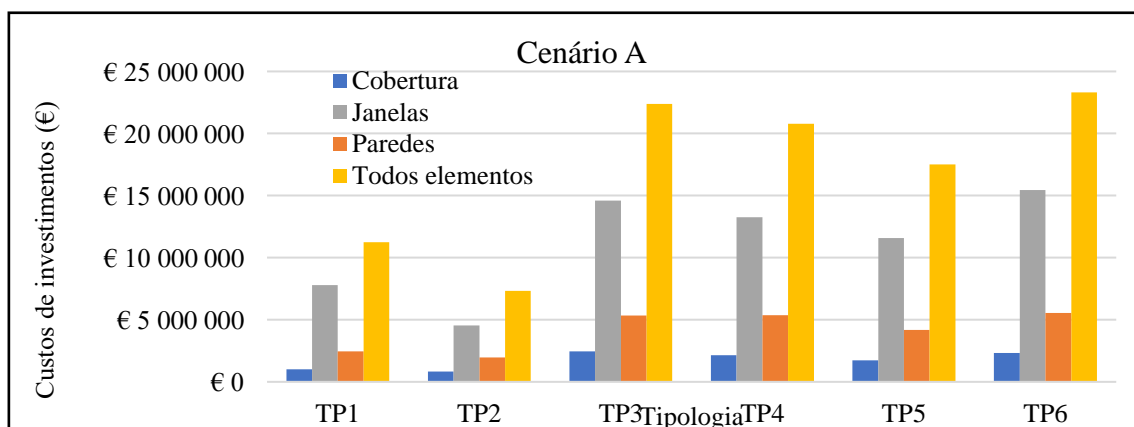


Figura 4. 31. Custo de investimento das envolventes para o cenário A

4.11.2. Cenário B – “Menor custo”

Neste cenário, que envolve a implementação das medidas de melhoria menos dispendiosa, foi calculado também o investimento necessário para que sejam aplicadas nos edifícios. A figura 4.32 mostra que as janelas são os elementos mais dispendiosos em todas as tipologias. Perante os dados obtidos, o cenário em análise revela que a envolvente que tem o menor valor monetário é a cobertura e por essa razão, durante a reabilitação destes edifícios, a cobertura deve ser a primeira envolvente no qual são implementadas essas medidas. Das seis tipologias definidas, o impacto das medidas é mais elevado na tipologia 3 e 6 que na totalidade vão custar 9,9 milhões de euros, para a tipologia 3, e 10,3 milhões de euros para a tipologia 6. Se todas as envolventes forem sujeitas as medidas de melhoria em todas a tipologias, o valor monetário corresponde a aproximadamente a 45,8 milhões de euros. Quando comparado com o cenário A, o custo de investimento deste cenário é 55% menor.

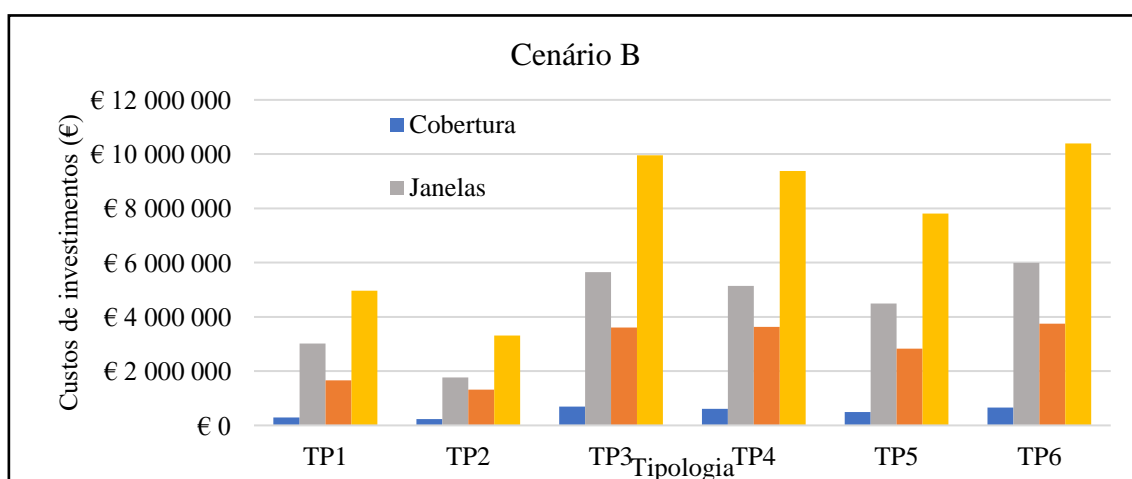


Figura 4. 32. Custo de investimento das envolventes para o cenário B

4.11.3. Mapeamento dos custos de investimento ao nível das subsecções em cada cenário

Nesta secção são apresentados os custos de investimento para as subsecções que constituem Alfama. Para este processo, os custos são calculados a partir da aplicação combinada das várias medidas de melhoria nas envolventes. Este processo permite avaliar quais são as subsecções com edifícios que necessitam de um maior/menor investimento.

Para o cenário A, as medidas de melhoria aplicadas resultam num investimento estimado mais elevado porque o material usado na reabilitação tem uma também um melhor desempenho energético. Os investimentos mais significativos estão presentes em

7% das subsecções, maioritariamente na freguesia de São Vicente de Fora. Os valores de cada subsecção estão apresentados na 4.33.

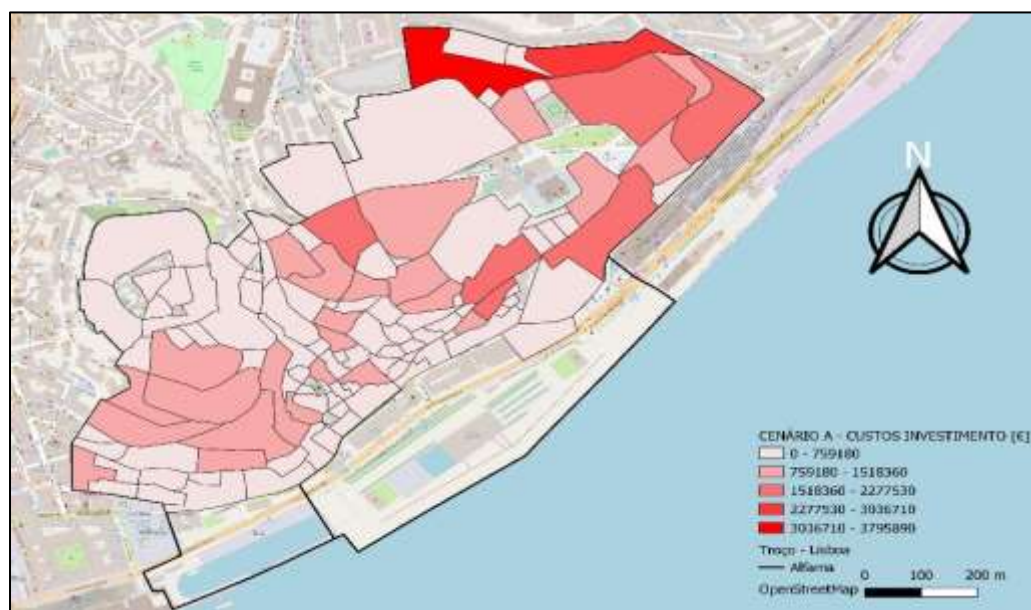


Figura 4. 33. Custos de Investimento no cenário A [€]

O custo de investimento no cenário B também apresentam valores elevados cujas subsecções que exigem um maior valor de investimento para reabilitar os edifícios, estão presentes na freguesia de São Vicente de Fora. Os valores de cada subsecção estão apresentados na figura 4.34.

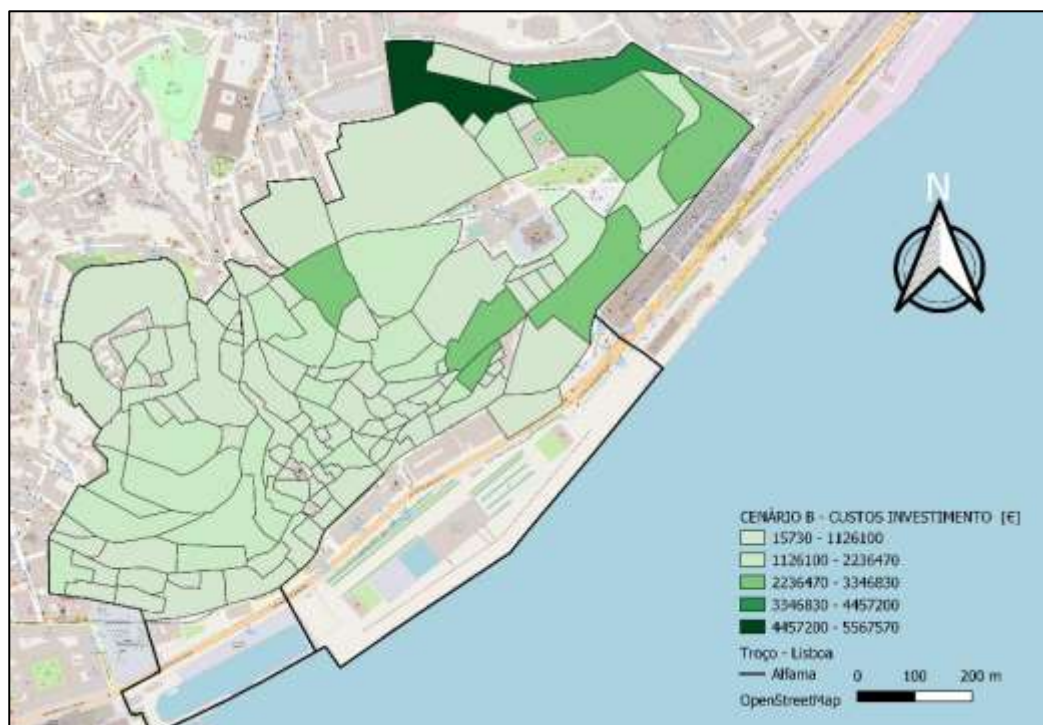


Figura 4. 34. Custos de Investimento no cenário B [€]

5. Conclusão

Em Portugal, os edifícios residenciais apresentam na sua generalidade valores de baixo desempenho energético e um consumo de energia para o conforto térmico dos edifícios pouco significativo. Estes dados são indicadores que apontam no sentido da ocorrência de uma taxa elevada de pobreza energética na população, em parte devido a problemas de eficiência energética, tanto dos edifícios como dos equipamentos de climatização. Lisboa é constituída por edifícios antigos, cuja eficiência energética é muito baixa e a aplicação de medidas de reabilitação tem de ser promovida.

Neste sentido, esta dissertação avaliou o potencial de eficiência energética dos edifícios de residenciais no bairro de Alfama, em Lisboa. Foram identificadas seis tipologias representativas de edifícios habitacionais, e de forma a caracterizar ao pormenor os edifícios destas tipologias, recorreu-se à análise de 4142 certificados energéticos provenientes da base de dados de certificação energética da ADENE. Foi analisada a situação atual em que se encontra Alfama relativamente às necessidades de aquecimento e arrefecimento nas habitações e foram testados dois cenários de melhoria (A-elevado impacto no desempenho energético e B- menor custo da medida) para três tipos de envolvente (janelas, paredes e coberturas) e o respetivo impacto de forma individual e cumulativa. Por último, foram quantificadas as necessidades de investimento por tipologia, por medida de renovação energética e mapeou-se por subsecção os valores obtidos para permitir uma melhor análise espacial no bairro.

A partir dos resultados obtidos, os valores das necessidades energéticas dos cenários de melhoria foram comparados com a situação atual. Os termos de comparação basearam-se no impacto que as medidas de melhoria tiveram nas envolventes de cada cenário. No cenário A, que corresponde ao elevado desempenho energético, apurou-se uma redução das necessidades energéticas de aquecimento em todas as envolventes incluídas em todas as tipologias. As aplicações das medidas de melhoria na cobertura levaram a uma redução de 29% das necessidades de aquecimento, 11% no caso das medidas relativas aos envidraçados e 54% às paredes. O mesmo não pode ser dito com as necessidades de arrefecimento. Relativamente às necessidades de arrefecimento, com a aplicação das medidas, registou-se na cobertura um declínio de 33%, 10% para os envidraçados e para as paredes, as necessidades aumentaram aproximadamente 6%. Este valor deve-se ao facto de a aplicação destas medidas de isolamento nas paredes é o ideal para a época de Inverno e contraproducente na época de Verão.

O mesmo processo foi feito para o cenário B, que aplica melhorias com menor custo. Nas necessidades de aquecimento registou-se uma redução de 28% com a aplicação de lã mineral, LM 10, na cobertura dos edifícios, 20% nos envidraçados e uma redução de 47% nas paredes. Quando às necessidades de arrefecimento, a aplicação das medidas resultou numa redução de 31% nas coberturas um aumento de 6% nos envidraçados e 4% nas paredes. O motivo destes valores reflete a falta de eficácia das duas envolventes para melhorar o conforto térmico durante o Verão

Foi calculado o custo de investimento para a implementação de cada envolvente nos dois cenários. No cenário A, a reabilitação das coberturas estimou-se cerca de 10,5 milhões de euros em todas as tipologias, as janelas cerca de 67 milhões de euros e para as paredes 25 milhões de euros. A aplicação das medidas em todos os edifícios presentes em Alfama, exige um investimento de aproximadamente 100 milhões de euros para este cenário.

Para o cenário B, a aplicação das medidas de eficiência energética para a cobertura poderá custar cerca de 2,9 milhões de euros, para as janelas cerca de 26 milhões de euros e para as paredes perto de 17 milhões de euros. Neste cenário, para serem implementadas todas as medidas de melhoria, é necessário um investimento de aproximadamente 45 milhões de euros.

São poucos os estudos que se dedicaram a este tema em Portugal, tendo aparecido vários obstáculos e limitações durante o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, foi definido um inquérito a ser realizado aos residentes no bairro de Alfama que iria complementar as fontes de informação utilizadas nesta dissertação. No entanto, devido à questão pandémica durante 2020, o inquérito teve que ser descartado.

O nível de detalhe a que se propôs este trabalho é significativo, tendo sido identificadas várias fontes de incertezas, relacionadas com a metodologia e com os dados utilizados. Para a definição das tipologias representativas, os dados de base utilizados são de 2011 não incorporando alterações posteriores no edificado. Relativamente à utilização de certificados energéticos, apenas se usou uma amostra não permitindo uma caracterização mais exaustiva da totalidade do edificado. Existe também uma limitação inerente ao cruzamento dos parâmetros principais usadas nas tipologias com os parâmetros semelhantes na amostra de certificado de forma a caracterizar as tipologias, uma vez que devido à privacidade dos dados não se sabe exatamente a que casa e localização no bairro o certificado reporta.

Para o caso do cálculo das necessidades, a estimativa dos alojamentos familiares para cada tipologia é igual ao número de alojamentos obtido a partir apenas do cruzamento entre o critério do período de construção e do número de pisos, não considerando combinação de outras variáveis. Isto sucede devido às limitações de cruzamento de dados por parte do INE a três variáveis de forma a preservar a privacidade dos dados.

Apesar de constituir um progresso significativo, na medida em que permite o estudo do conforto térmico e avaliação das medidas de reabilitação ideais à escala de um bairro, este trabalho tem potencial de melhoria para estudos futuros. Essa melhoria depende, em grande parte, da disponibilidade de dados. Seria relevante realizar-se inquéritos ao nível das freguesias para poder ter dados de caracterização mais detalhada de cada alojamento, consumos energéticos, equipamentos de climatização e assim avaliar a situação de conforto térmico de forma mais precisa e identificar soluções de melhoria mais ajustadas às condições reais atuais das diferentes habitações e tipologias de edifícios. Também seria importante utilizar os inquéritos e os certificados para determinar outras medidas de reabilitação e analisar os impactos energéticos que estas medidas têm nos edifícios.

As políticas europeias apontam no sentido da redução do consumo de energia, e aumento da eficiência energética. Os resultados desta dissertação trazem à luz problemas que afetam quase transversalmente a totalidade da população portuguesa, e não apenas no bairro histórico de Alfama. Por esta razão, é necessário definir a renovação do parque edificado como prioridade política e de investimento nacional, procedendo-se a uma definição de políticas com impacto de curto prazo, criação de esquemas de financiamento que apoiem esta renovação e implementação medidas inovadoras que permitam melhorar o conforto térmico nas habitações. Desta forma, juntamente com as medidas de reabilitação do edificado e aumento da eficiência dos equipamentos de climatização, é fundamental um esforço para proporcionar à população um nível razoável de conforto térmico e capacidade de manter as suas habitações a temperaturas ideais para preservar a saúde e bem-estar.

6.Referências Bibliográficas

- ADENE. (2011a). *Guia da Eficiência Energética*. ADENE - Agência para a Energia. Disponível em: lisboaenova.org/escolaeficiente/pdfs/Guia_EE_ADENE.pdf
- ADENE. (2018). Base de dados de Certificados Energéticos. *ADENE* - Agência para a Energia.
- Aljustrel, M. D. E., & Brito, N. (2011). *Regulamento Municipal do Alojamento Local*. 7, 21082–21088. Município de Lisboa. *Diário da República*, 2.^a série — N.º 214. Disponível em: <https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/125933896/details/normal?l=1>
- Ministério do Ambiente (2020). *Fundo Ambiental*. Consultado a 19 de Outubro, 2020. Disponível em: <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2020/mitigacao-das-alteracoes-climaticas/programa-de-apoio-a-edificios-mais-sustentaveis.aspx>
- Andrade, P. B. (2012). *Eficiência Energética em Edifícios : Oportunidades e Desafios*. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/65326>
- Bandeiras, F., Gomes, M., Coelho, P., & Fernandes, J. (2019). Towards net zero energy in industrial and commercial buildings in Portugal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, November, 109580. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109580>
- Borges, P. (2009). *Certificação Energética de edifícios existentes: estudo sobre a melhoria do desempenho térmico de paredes exteriores e respectiva análise técnico-económica*. Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil – especialização em construções civis. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*.
- Carapeto, T. (2016). *Avaliação de Medidas de Eficiência Energética em Edifícios Residenciais*. Trabalho de Projeto apresentado para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletromecânica, especialização em Instalações e Equipamentos em

- Edifícios. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- CML. (1997). *Plano Diretor Municipal*. Câmara de Lisboa.
- CML (2010). *Planos de pormenor de reabilitação urbana*. Câmara Municipal de Lisboa.
- CML (2012). *Plano Diretor Municipal*. Câmara Municipal de Lisboa.
- CML (2019). *Proposta n. 0 244/2019*. Câmara Municipal de Lisboa.
- Comissão Europeia (2015). *Methodological guidelines and description of EU_SILC target variables 2015 operation (Novembro 2014). 065*. Eurostat. Disponível em <https://circabc.europa.eu/sd/a/afb4601b-4e5c-4f40-86bb0c3d0d94aa12/DOCSILC065operation2015VERSION08-08-2016.pdf>
- ADENE. (2018). *Edifícios - ADENE*. <https://www.adene.pt/edificios/>
- ADENE. (2020). *Guia SCE – Indicadores de Desempenho Energético (REH)*.
- Aljustrel, M. D. E., & Brito, N. (2011). Regulamento Municipal do Alojamento Local. *Diário Da República, 2.ª Série — N.º 214, 7, 21082–21088*.
- Ambiente, M. do. (n.d.). *Fundo Ambiental*. Retrieved October 19, 2020, from <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2020/mitigacao-das-alteracoes-climaticas/programa-de-apoio-a-edificios-mais-sustentaveis.aspx>
- Andrade, P. B. (2012). Eficiência Energética em Edifícios : Oportunidades e Desafios. *Faculdade de Engenharia Da Universidade Do Porto*, 158. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/65326>
- Bandeiras, F., Gomes, M., Coelho, P., & Fernandes, J. (2019). Towards net zero energy in industrial and commercial buildings in Portugal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, November*, 109580. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109580>
- Borges, P. M. R. da S. C. (2009). *Certificação Energética de edifícios existentes: estudo sobre a melhoria do desempenho térmico de paredes exteriores e respectiva análise técnico-económica*. 191.
- Carapeto, T. (2016). Avaliação de Medidas de Eficiência Energética em Edifícios Residenciais. *Instituto Superior de Engenharia de Coimbra*.
- Comissão Europeia. (2019). *Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030. 2030(Pnec 2030)*. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pt_final_necp_main_pt.pdf
- Comissão Europeia. (2020a). *METHODOLOGICAL GUIDELINES AND DESCRIPTION OF EU-SILC TARGET VARIABLES 2015 operation. 065(november 2014)*.
- Comissão Europeia. (2020b). *Portugal 2020*. <https://www.portugal2020.pt/>
- CPCI. (2020). *Casa eficiente 2020*. <https://casaeficiente2020.pt/sobre-o-programa/>
- Cruz, S., & Seca, V. (2013). Reorganização Administrativa do Território das Freguesias - (RATF). *DGAI*, 1–19.
- DGEG. (2018). Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios. *República Portuguesa*. <https://participa.pt/pt/consulta/elpre-estrategia-de-longo-prazo-para-a->

- DGEG. (2019). Balanço Energético Sintético. *República Portuguesa*.
- do Ambiente, A. P. (2018). Roteiro para a Neutralidade Carbónica RNC-50. *República Portuguesa, 2050*, 9–24.
- EPBD 2010/31/UE. (2010). Desempenho energético de edifícios. *Jornal Oficial Da União Europeia, 11*, 13–35. https://doi.org/10.3000/17252601.L_2010.153.por
- Eurostat. (2020). *Energy balances* - *Eurostat*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>
- Gomes, B. L. (2017). Avaliação das pontes térmicas lineares em edifícios de habitação – Resultados Numéricos versus Experimentais Evaluation of linear thermal bridges on residential. *Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra*.
- Gonçalves, M. A. L. (2015). *Eficiência energética em edifícios históricos. I*, 120. https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090414568/MartaGoncalves_EficienciaEnergeticaEdificios
- Gouveia, J., & Palma, P. (2019). Harvesting big data from residential building energy performance certificates: Retrofitting and climate change mitigation insights at a regional scale. *Environmental Research Letters, 14*(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3781>
- Gouveia, João Pedro, & Seixas, J. (2015). *Integrative Smart City Planning Coordination. 1*(January).
- Gouveia, João Pedro. (2017). *Residential Sector Energy Consumption at the Spotlight : From Data to Knowledge*.
- Gouveia, João Pedro, & Palma, P. (2019). Harvesting big data from residential buildings energy performance certificates: retrofitting and climate change mitigation insights at a regional scale. *Nanotechnology*, 0–22.
- Gouveia, João Pedro, Palma, P., & Simoes, S. G. (2019). Energy poverty vulnerability index: A multidimensional tool to identify hotspots for local action. *Energy Reports, 5*, 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.12.004>
- Graça, F. A. A. (2011). Eficiência Energética em Edifícios de Serviços no Concelho de Almada. *Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa*.
- IFRRU. (2020). *Início - IFRRU*. <https://ifrru.ihru.pt/>
- INE. (2011). *Instituto Nacional de Estatística*. https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros
- Lisboa, C. M. de. (1997). *Plano Director Municipal*.
- Lisboa, C. M. de. (2012). *Plano Director Municipal. Assembleia Municipal*.
- Ministério Da Economia E Da Inovação. (2006). Decreto-Lei n.º 78/2006. *Diário Da República, 67*, 2–6.
- Ministério do Ambiente. (2015). Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro. *Diário Da República, 1.ª série*(231), 9591–9611.

- Ministério do Ambiente. (2020). *Fundo Ambiental, Ministério do Ambiente*. <https://www.fundoambiental.pt/quem-somos/missao-do-fundo.aspx>
- Município de Lisboa. (2013). *Alteração ao plano de urbanização do núcleo histórico de Alfama e colina do Castelo*.
- Observatório de energia. (2020). *Observa*. <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros/portugal/0/1/bar/certificadosano/2248-2297>
- Odyssee-Mure. (2018). *Consumo de energia final e de energia eléctrica pelo sector doméstico*. 1–3. www.epa.gov%0Awww.bt.cdc.gov/agent/cyanide/index.asp
- PAA. (2020). *Início - Plataforma do Arrendamento Acessível*. <https://paa.portaldahabitacao.pt/>
- Palma, P. (2017). *Mapeamento das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ao nível das freguesias em Portugal : implicações para a análise do conforto térmico nas habitações*. June. <https://run.unl.pt/handle/10362/30791>
- Palma, Pedro, Gouveia, J. P., & Simoes, S. G. (2019). Mapping the energy performance gap of dwelling stock at high-resolution scale: Implications for thermal comfort in Portuguese households. *Energy and Buildings*, 190, 246–261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.002>
- Parlamento Europeu. (2013). Decreto-Lei n.º 118/2013, DE 20 DE agosto (desempenho energético dos edifícios). *Diário Da República*, 159, 4988–5005.
- Parlamento Europeu e do Conselho. (2012). Diretiva 2012/27/UE. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 1–56.
- Parlamento Europeu e do Conselho. (2018). Directiva 2018/844. *Jornal Oficial Da União Europeia*, L156, 75–91. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- PEES. (2020). *PEES | Programa de Estabilização Económica e Social*. <https://pees.gov.pt/>
- Portal do Governo. (2020). *PNEC 2030 já foi aprovado | Portugal 2020*. Portugal 2020. <https://www.portugal2020.pt/content/pnec-2030-ja-foi-aprovado>
- Reis, T. (2019). *Eficiência Energética em Edifícios Públicos – Análise Integrada de Certificados Energéticos para apoio à Decisão*.
- SEUR, P. (2020). *PO SEUR*. <https://poseur.portugal2020.pt/>
- Silva, F. M. F. S. (2013). Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores. *Faculdade de Engenharia Da Universidade Do Porto*, 211.
- SUSHI. (2020). *Alfama – Lisbon (Portugal) – Sustainable Historic City Districts*. <https://sustainablehistoriccitydistricts.wordpress.com/districts/alfama-lisbon/>
- República Portuguesa (2020). *Portugal 2020*. Disponível em: <https://www.portugal2020.pt/>
- DGEG. (2019). *Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030*. (PNEC 2030). Direção Geral de Energia e Geologia. Disponível em

- https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pt_final_necp_main_pt.pdf
- CPCI. (2020). *Casa eficiente 2020*. Confederação Portuguesa da Construção e do Imobiliário. Disponível em <https://casaeficiente2020.pt/sobre-o-programa/>
- Cruz, S., & Seca, V. (2013). *Reorganização Administrativa do Território das Freguesias - (RATF)*. Direção Geral de Administração Interna. 1–19.
- Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Diário da República, série I, n.º 159/2013, 4988-5005. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa
- Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio. Regulamenta os sistemas energéticos de climatização em edifícios. Diário da República, série I-A, n.º 105/1998, 2114-2129. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril. Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Diário da República, série I-A, n.º 67/2006, 2411-2415. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril. Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e transpõe parcialmente para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Diário da República, série I-A, n.º 67/2006, 2411-2415. Ministério da Economia e da Inovação. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril. Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE). Diário da República, série I-A, n.º 67/2006, 2416-2468. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril. Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Diário da República, série I-A, n.º 67/2006, 2468-2513. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE
- DGEG. (2016). *Plano de Ação Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE*. República Portuguesa, iii, 6394–6397. Direção Geral de

- Energia e Geologia. Disponível em <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/plano-nacional-de-acao-para-a-eficiencia-energetica-pnaee/>
- DGEG. (2017a). *Balanço Energético 2016 - Sintético*. Lisboa. Direção Geral de Energia e Geologia. Obtido de <http://www.dgeg.gov.pt/>
- DGEG. (2020). *Estratégia de longo prazo para a renovação dos edifícios*. República Portuguesa. Direção Geral de Energia e Geologia. ADENE - Agência para a Energia. Disponível em <https://participa.pt/pt/consulta/elpre-estrategia-de-longo-prazo-para-a-renovacao-dos-edificios>
- DGEG. (2019). *Balanço Energético 2018 - Sintético*. Direção Geral de Energia e Geologia. Disponível em www.dgeg.pt
- Eurostat. (2020). *Balancos Energéticos*. Eurostat. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>
- EPBD (2010). *Desempenho energético de edifícios*. Jornal Oficial Da União Europeia, 11, 13–35. Disponível em https://doi.org/10.3000/17252601.L_2010.153.por
- Fundo Ambiental. (2019). *Apresentação do Regulamento do Programa de Apoio "Edifícios mais Sustentáveis"*. Acedido em 19 de novembro de 2020. Disponível em <https://www.fundoambiental.pt/quem-somos/missao-do-fundo.aspx>
- Gomes, B. L. (2017). *Avaliação das pontes térmicas lineares em edifícios de habitação – Resultados Numéricos versus Experimentais Evaluation of linear thermal bridges on residential*. Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Construções. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- Gonçalves, M.A.L. (2015). *Eficiência energética em edifícios históricos. I*, 120. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura. *Instituto Superior Técnico*. Disponível em https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/563345090414568/MartaGoncalves_EficienciaEnergeticaEdificios
- Gouveia J.P. (2017) *Residential Sector Energy Consumption at the Spotlight: From Data to Knowledge*. PhD thesis on Climate Change and Sustainable Development Policies – Sustainable Energy Systems. Faculty of Sciences and Technology, Nova University of Lisbon. <https://run.unl.pt/handle/10362/23552>; TID: 101577370
- Gouveia, J.P., Palma, P. (2019). Harvesting big data from residential buildings energy performance certificates: retrofitting and climate change mitigation insights at a regional scale. *Environ. Res. Lett.* 14, 09, 5007 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3781>
- Gouveia, J. P., Palma, P., & Simões, S. G. (2019). Energy poverty vulnerability index: A multidimensional tool to identify hotspots for local action. *Energy Reports*, 5, 187–201. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.12.004>
- Graça, F. A. A. (2011). *Eficiência Energética em Edifícios de Serviços no Concelho de Almada*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente,

- Perfil de Gestão e Sistemas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- IFRRU. (2020). *Início - IFRRU*. Instrumento Financeiro de Reabilitação e Revitalização Urbanas. República Portuguesa. Disponível em <https://ifrru.ihru.pt/>
- INE. (2011). *CENSOS 2011*. Instituto Nacional de Estatística. Disponível em https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos_quadros
- Município de Lisboa. (2013). *Alteração ao plano de urbanização do núcleo histórico de Alfama e colina do Castelo*. Disponível em <http://www.cm-lisboa.pt/pt/viver/urbanismo/planeamento-urbano/planos-de-urbanizacao/planos-de-urbanizacao-em-vigor/plano-de-urbanizacao-do-nucleo-historico-de-alfama-e-colina-do-castelo/antecedentes>
- Odyssee-Mure. (2018). *Consumo de energia final e de energia eléctrica pelo sector doméstico*. 1–3. Disponível em: www.epa.gov%0Awww.bt.cdc.gov/agent/cyanide/index.asp
- Observatório de Energia. (2020). Energia em Números. República Portuguesa. Disponível em <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros/portugal/0/1/bar/certificadosano/2248-2297>
- PAA (2020). *Início - Plataforma do Arrendamento Acessível*. Portal Habitação. Disponível em <https://paa.portaldahabitacao.pt/>
- Palma, P. (2017). *Mapeamento das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento ao nível das freguesias em Portugal : implicações para a análise do conforto térmico nas habitações*. Junho 217. Tese apresentada para grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/30791>
- Palma, P., Gouveia, J.P., Simoes, S. G. (2019). Mapping the energy performance gap of dwelling stock at high-resolution scale: Implications for thermal comfort in Portuguese households. *Energy and Buildings* (190), pp. 246-261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.002>
- Palma, P., Gouveia, J.P., Barbosa, R. (nd). *How much will it cost? Buildings Retrofit analysis for the whole Portuguese Residential Building Stock*. Working paper 2020. Unpublished.
- Parlamento Europeu e do Conselho. (2018). Diretiva 2018/844 Do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018 que altera a Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética. *Jornal Oficial Da União Europeia*, L156, 75–91. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844&from=EN>
- PEES. (2020). *PEES / Programa de Estabilização Económica e Social*. Disponível em <https://pees.gov.pt/>
- Portal do Governo. (2020). *PNEC 2030 já foi aprovado / Portugal 2020*. Portugal 2020. Disponível em <https://www.portugal2020.pt/content/pnec-2030-ja-foi-aprovado>
- PO SEUR (2020). *PO SEUR*. Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no

- Uso de Recursos. Disponível em <https://poseur.portugal2020.pt/>
- PORDATA (2020), *Consumo de energia final e de energia elétrica pelo sector doméstico (%)*. PORDATA. Disponível em www.pordata.pt
- RCCTE. (2009). *Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)*. 67–75. <https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/RCCTE200502.pdf>
- Reis, T. (2019). *Eficiência Energética em Edifícios Públicos – Análise Integrada de Certificados Energéticos para apoio à Decisão*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Sistemas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa
- Silva, F. (2013). *Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em engenharia civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SUSHI. (2020). *Alfama – Lisbon (Portugal) – Sustainable Historic City Districts*. Projeto Co-financiado pelo EIT Climate KIC. Disponível em <https://sustainablehistoriccitydistricts.wordpress.com/districts/alfama-lisbon/>

Anexo A - Metodologia de determinação das necessidades de aquecimento e arrefecido, estabelecidas no REH.

Necessidades de aquecimento

Descreve-se de seguida as expressões de cálculo dos parâmetros não apresentadas na metodologia, mas que ainda assim foram utilizados para a determinação das necessidades teóricas de aquecimento. A fórmula de cálculo da transferência de calor por ventilação correspondente à renovação do ar interior é idêntica à por transmissão (equação A1):

$$Q_{ve,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad [kWh] \quad \text{(equação A1)}$$

No entanto o coeficiente global de transferência de calor por ventilação ($H_{ve,i}$) é obtido através da equação A2:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d \quad [W/^\circ C] \quad \text{(equação A2)}$$

Na qual $R_{ph,i}$ é a Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, [h-1], considerada 0,4 para a estação de aquecimento; A_p corresponde à área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m²], e P_d é o pé direito médio da fração, [m].

Por sua vez, os ganhos térmicos úteis são calculados multiplicando os ganhos térmicos brutos e o fator de utilização desses ganhos (equação A3):

$$G_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad [kWh] \quad \text{(equação A3)}$$

Em que η_i representa o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento e Q_{gi} são os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, [kWh].

A forma como o fator de utilização é calculado depende do parâmetro γ , determinado com a equação A4:

$$\gamma = Q_g / (Q_{tr} + Q_{ve}) \quad (\text{equação A4})$$

Assim,

- Se $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma} \quad (\text{equação A5})$$

- se $\gamma = 1$

$$\eta = a + 1 \quad (\text{equação A6})$$

- se $\gamma < 0$

1

$$\eta = -\frac{1}{\gamma} \quad (\text{equação A7})$$

O parâmetro a é função da classe de inércia térmica do edifício, sendo igual a um dos seguintes valores:

- 1,8 – se se tratar de um edifício com inércia térmica fraca [W/°C];
- 2,6 – se se tratar de um edifício com inércia térmica média [W/°C];
- 4,2 – se se tratar de um edifício com inércia térmica forte [W/°C];

Os ganhos térmicos brutos são determinados pela soma entre os ganhos térmicos internos e solares (equação A8):

$$G_{gu,i} = G_{int,i} + G_{sol,i} \quad [kWh] \quad (\text{equação A8})$$

Na qual $G_{int,i}$ corresponde aos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kWh], e $G_{sol,i}$ são os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kWh].

Os ganhos internos são obtidos através da equação A9:

$$G_{int,i} = 0,72 q_{int} \cdot M \cdot A_p \quad [kWh] \quad (\text{equação A9})$$

Na qual q_{int} são os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m²; M é a duração média da estação convencional de aquecimento, [mês]; e A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²].

Os ganhos solares brutos são calculados através da equação A10:

$$G_{sol,i} = G_{sul} \cdot \sum_j [X_j \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj}] \cdot M \quad [kWh] \quad (\text{equação A10})$$

G_{sul} é o valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/m².mês]; X_j corresponde ao fator de orientação para as diferentes exposições; $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²]; j é o índice que corresponde a cada uma das orientações; n é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j ; e M representa a duração média da estação convencional de aquecimento, [mês].

A área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado é obtida através equação A11:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [m^2] \quad (\text{equação A11})$$

Em que A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²]; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado e g_i é o fator solar de inverno.

Necessidades de arrefecimento

Descreve-se de seguida as expressões de cálculo dos parâmetros não apresentadas na metodologia, mas que ainda assim foram utilizados para a

determinação das necessidades teóricas de arrefecimento. A transferência de calor por ventilação é calculada por expressão da equação A12:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad [kWh] \quad \text{(equação A12)}$$

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação é determinado de forma análoga para a estação de arrefecimento, como foi determinado para a estação de aquecimento. A única diferença reside no valor utilizado para a taxa nominal de renovação do ar interior ($R_{ph,i}$). Foi considerado que ocorre a renovação de 60% do ar interior por hora, ou seja, uma taxa nominal de renovação de 0.6, o que constitui o valor mínimo de referência para esta estação.

Relativamente aos ganhos térmicos brutos, a expressão de cálculo é igual à expressão utilizada para a estação de aquecimento, ou seja, resultam da soma dos ganhos associados a fontes internas de calor e à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada solares. A expressão para o cálculo dos ganhos internos está representada na equação A13:

$$G_{int,i} = q_{int} \cdot A_p \cdot L_v / 1000 \quad [kWh] \quad \text{(equação A13)}$$

Em que q_{int} corresponde aos ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m²; A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m²]; L_v é a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Por sua vez, os ganhos solares são obtidos através da seguinte fórmula:

$$G_{sol,i} = \sum_j [G_{sol} \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj}] \quad [kWh] \quad \text{(equação A14)}$$

Em que G_{sol} representa a energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, [kWh/m²]; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , [m²]; j é o índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal; n é o índice correspondente a cada um dos

elementos opacos e envidraçados com a orientação j ; e $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução da superfície do elemento n , com a orientação j .

A área efetiva coletora de radiação solar é determinada de acordo com a equação A15:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [m^2] \quad \text{(equação A15)}$$

Em que A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, $[m^2]$; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado, e g_i é o fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento. A transferência de calor por ventilação é calculada por expressão análoga à anterior:

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v / 1000 \quad [kWh] \quad \text{(equação A16)}$$

O coeficiente global de transferência de calor por ventilação é determinado de forma análoga para a estação de arrefecimento, como foi determinado para a estação de aquecimento. A única diferença reside no valor utilizado para a taxa nominal de renovação do ar interior ($R_{ph,i}$). Foi considerado que ocorre a renovação de 60% do ar interior por hora, ou seja, uma taxa nominal de renovação de 0,6, o que constitui o valor mínimo de referência para esta estação.

Relativamente aos ganhos térmicos brutos, a expressão de cálculo é igual à expressão utilizada para a estação de aquecimento, ou seja, resultam da soma dos ganhos associados a fontes internas de calor e à radiação solar incidente na envolvente exterior opaca e envidraçada solares. A expressão para o cálculo dos ganhos internos é a seguinte:

$$G_{int,i} = q_{int} \cdot A_p \cdot L_v / 1000 \quad [kWh] \quad \text{(equação A17)}$$

Em que q_{int} corresponde aos ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m^2 ; A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, $[m^2]$; L_v é a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas. Por sua vez, os ganhos solares são obtidos através da seguinte fórmula:

$$G_{sol,i} = \sum_j [G_{sol} \cdot \sum_n F_{s,inj} \cdot A_{s,inj}] \quad [kWh] \quad \text{(equação A18)}$$

Em que G_{sol} representa a energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, [kWh/m²]; $A_{s,inj}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , [m²]; j é o índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal; n é o índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j ; e $F_{s,inj}$ é o fator de obstrução da superfície do elemento n , com a orientação j .

A área efetiva coletora de radiação solar é determinada de acordo com a seguinte expressão:

$$A_{s,i} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [m^2] \quad \text{(equação A19)}$$

Em que A_w corresponde à área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²]; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado, e g_i é o fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

Anexo B - Medidas de melhoria usadas nas envolventes

- Cobertura

Tabela B. 1. Material de isolamento térmico para a cobertura

Elemento do edifício	Descrição	Designação	Valor U (W/m ² . K)	custo investimento €/m ²
Cobertura	Isolamento térmico em polistireno expandido	EPS 12	0,04	25,48
Cobertura	Isolamento térmico em feltro isolante em lã mineral	LM 14	0,11	8,88
Cobertura	Isolamento térmico em feltro isolante em lã mineral	LM 12	0,12	8,13
Cobertura	Isolamento térmico em polistireno expandido	EPS 9	0,05	19,49
Cobertura	Isolamento térmico em feltro isolante em lã mineral	LM 10	0,14	7,21
Cobertura	Poliuretano projetado	PP 6	0,05	21,24
Cobertura	Isolamento térmico em polistireno expandido	EPS 6	0,07	14,2
Cobertura	Poliuretano projetado	PP 8	0,04	25,99
Cobertura	Poliuretano projetado	PP 10	0,03	29,3

- Parede

Tabela B. 2. Material de isolamento térmico para as paredes

Elemento do edifício	Descrição	Designação	Valor U (W/m ² . K)	custo investimento €/m ²
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - polistireno expandido	EPS 15	0,02	52
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - lã mineral	LM 12	0,02	45,24
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - placa de aglomerado de cortiça	AC 12	0,02	62,49
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - polistireno expandido	EPS 9	0,03	37,57
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - lã mineral	LM 9	0,02	41,13
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - placa de aglomerado de cortiça	AC 9	0,02	57,06
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - polistireno expandido	EPS 6	0,03	35,23
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - lã mineral	LM 6	0,03	37,97
Parede exterior/ interior	Isolamento pelo interior - placa de aglomerado de cortiça	AC 6	0,02	51,97
Parede exterior/ exterior	Fachada ventilada com isolamento em polistireno expandido	FV EPS 15	0,01	105,78
Parede exterior/ exterior	Sistema ETICS com isolamento em polistireno expandido	ETICS EPS 14	0,01	80

Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em painel de lã de rocha vulcânica	FV LM 12	0,01	110,14
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em aglomerado de cortiça	FV AC 12	0,01	126,27
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em polistireno expandido	ETICS EPS 12	0,01	76,04
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em painel de lã de rocha vulcânica	ETICS LM 12	0,01	106,17
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em aglomerado de cortiça	ETICS AC 12	0,01	134,12
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em polistireno expandido	FV EPS 8	0,01	102,42
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em painel de lã de rocha vulcânica	FV LM 8	0,01	105,15
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em aglomerado de cortiça	FV AC 8	0,01	118,15
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em polistireno expandido	ETICS EPS 8	0,02	65,14
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em painel de lã de rocha vulcânica	ETICS LM 8	0,01	85,47
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em aglomerado de cortiça	ETICS AC 8	0,01	103,74
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em polistireno expandido	FV EPS 4	0,01	99,07
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em painel de lã de rocha vulcânica	FV LM 4	0,01	101,49
Parede exterior/exterior	Fachada ventilada com isolamento em aglomerado de cortiça	FV AC 4	0,01	110,03
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em polistireno expandido	ETICS EPS 4	0,02	55,5
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em painel de lã de rocha vulcânica	ETICS LM 4	0,02	65,58
Parede exterior/exterior	Sistema ETICS com isolamento em aglomerado de cortiça	ETICS AC 4	0,01	76,28

- **Envidraçado**

Tabela B. 3. Material de isolamento térmico para os envidraçados

Elemento do edifício	Descrição	Designação	Valor U (W/m². K)	custo investimento €/m²
Caixilharias	Caixilharia Alumínio com vidro baixa emissividade (com corte térmico)	CX AL LE CT	1,20	905,00
Caixilharias	Caixilharia Alumínio com vidro standard (com corte térmico)	CX AL STD CT	1,40	800,60
Caixilharias	Caixilharia PVC vidro baixa emissividade	CX PVC LE	1,56	455,00
Caixilharias	Caixilharia PVC com vidro standard	CX PVC STD	2,20	350,60
Caixilharias	Caixilharia Alumínio com vidro baixa emissividade	CX AL LE	2,20	605,00
Caixilharias	Caixilharia Alumínio com vidro standard	CX AL STD	2,40	500,60

Anexo C - Mapeamento das necessidades energéticas e do custo de investimento ao nível das subsecção de cada freguesia

- Cenário A

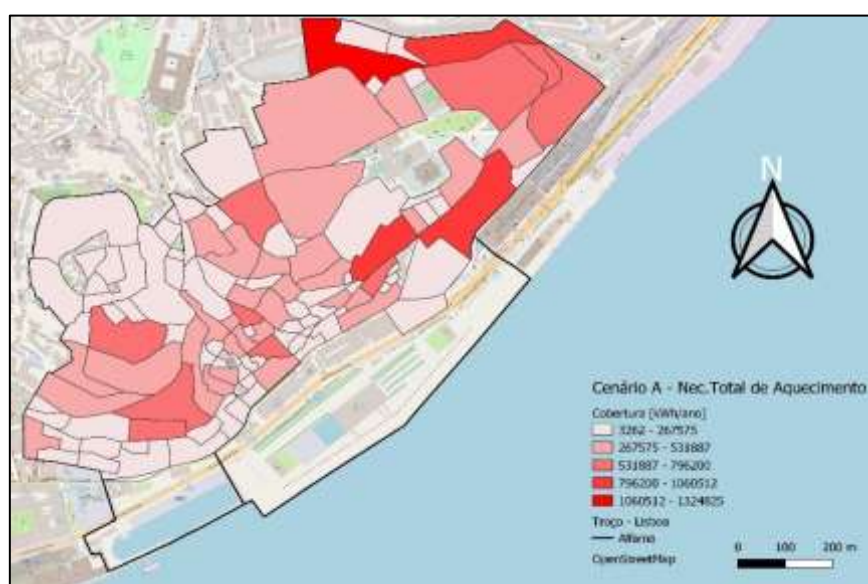


Figura C. 1. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento após medida de melhoria das cobertura ao nível das subsecções no cenário A [kWh/ano]

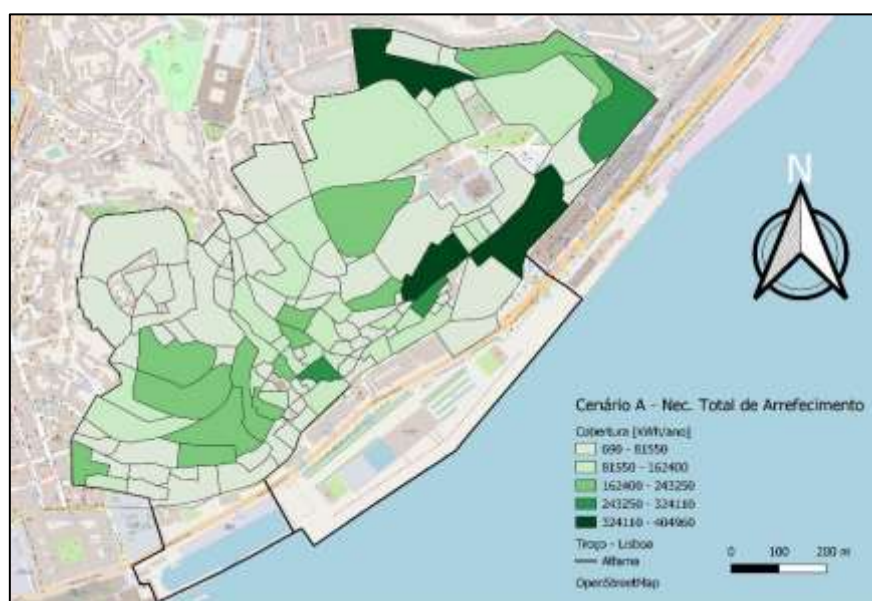


Figura C. 2. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento após medida de melhoria das cobertura ao nível das subsecções no cenário A [kWh/ano]

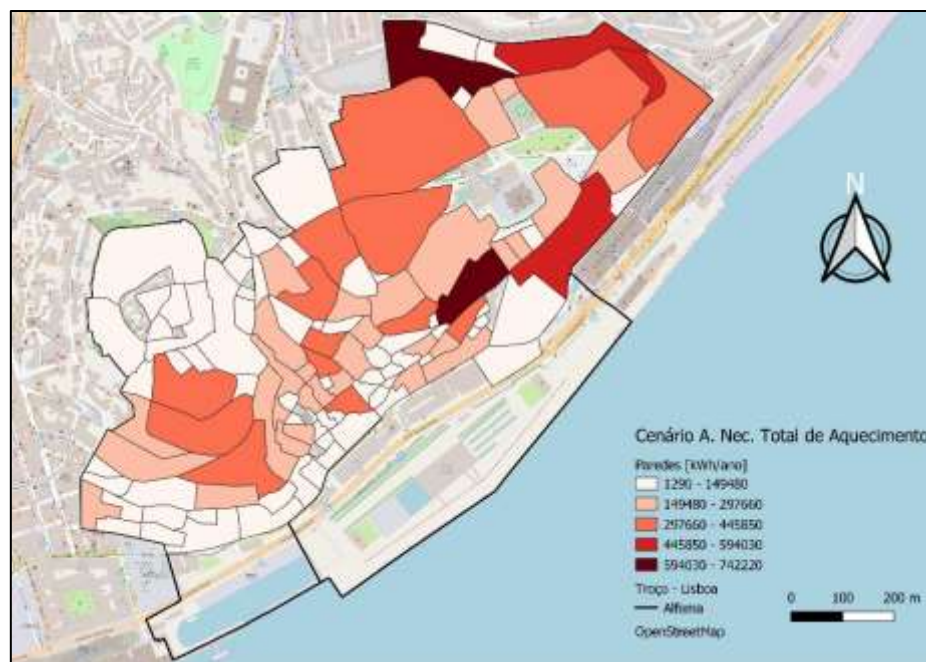


Figura C. 3. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento após medida de melhoria das paredes ao nível das subsecções no cenário A [kWh/ano]

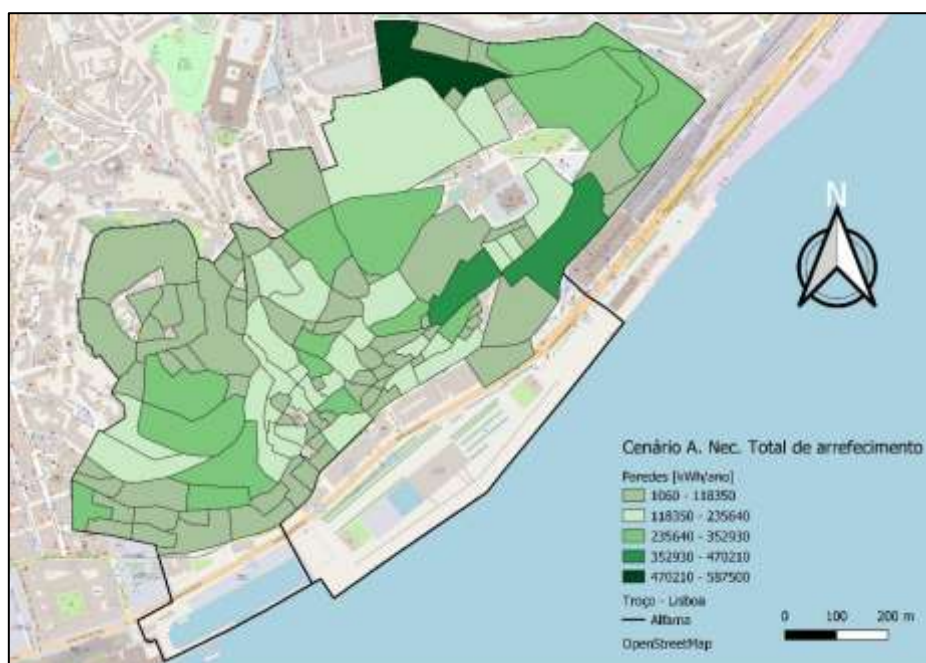


Figura C. 4. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento após medida de melhoria das paredes ao nível das subsecções no cenário A [kWh/ano]

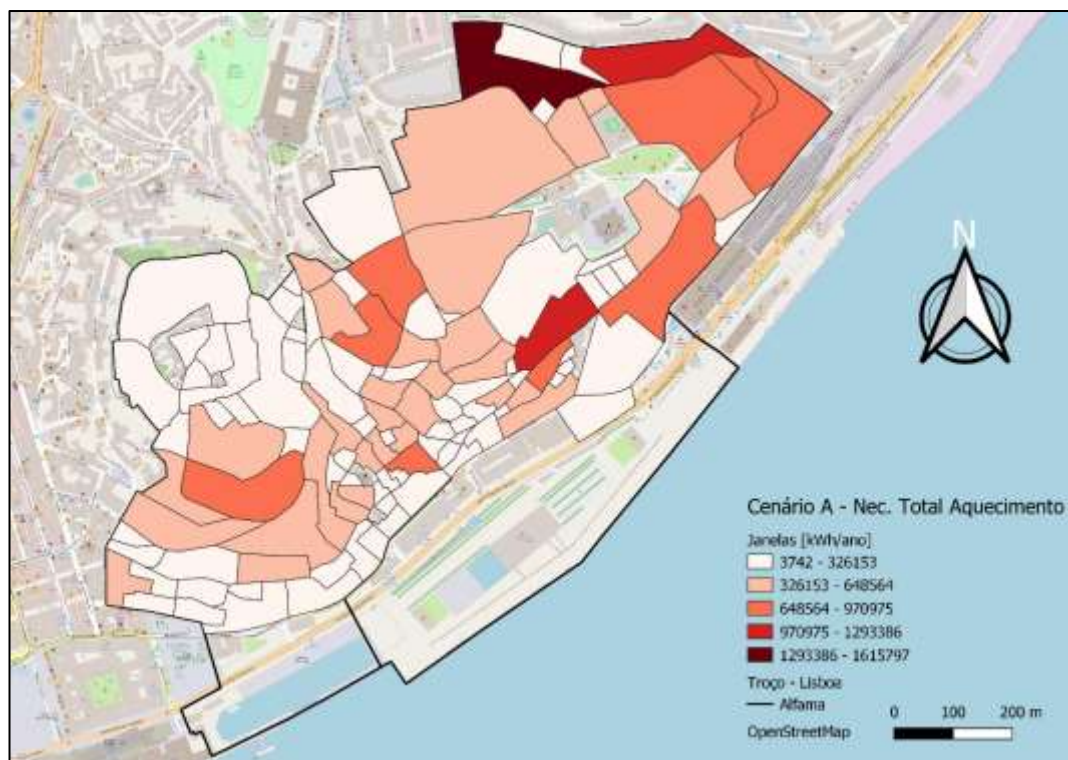


Figura C. 5. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento após medida de melhoria dos envidraçados (janelas) ao nível das subsecções no cenário A [KWh/ano]

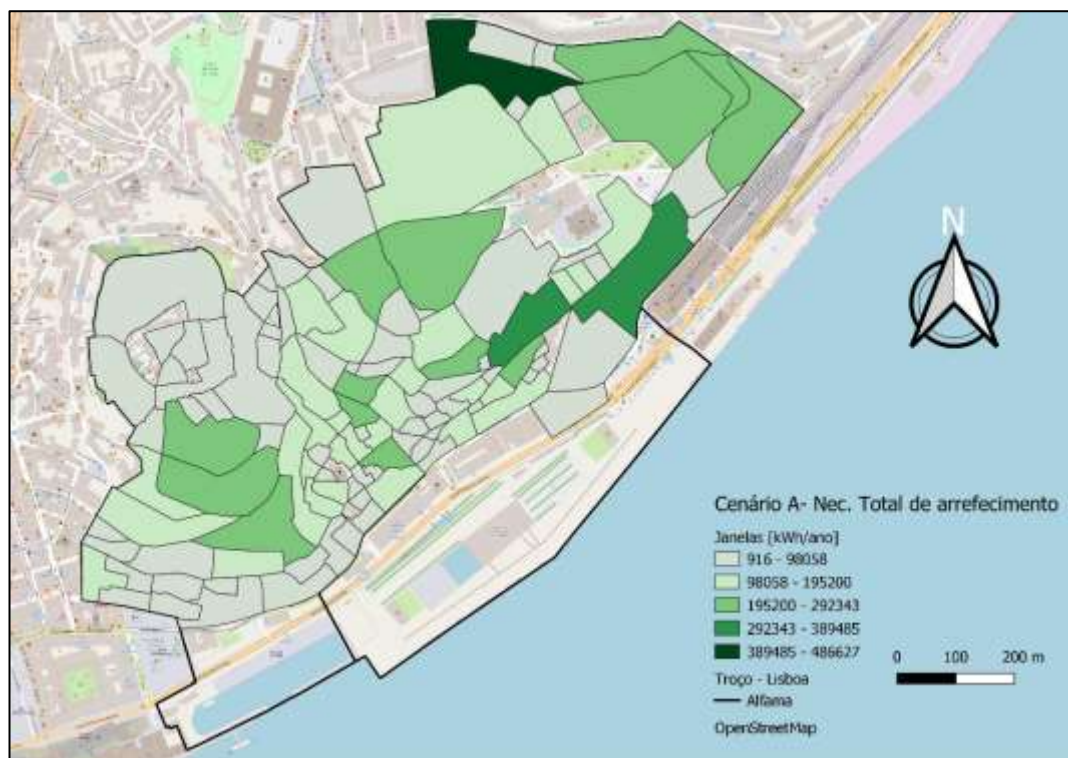


Figura C.6. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento após medida de melhoria dos envidraçados (janelas) ao nível das subsecções no cenário A [KWh/ano]

- Impacto energético do cenário A

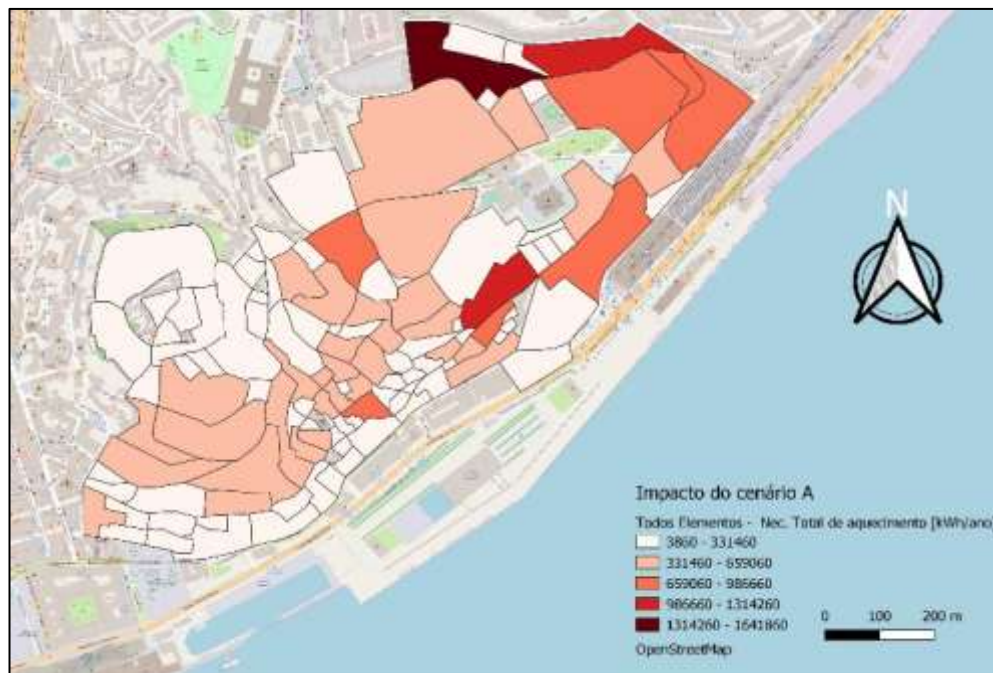


Figura C.7. Mapeamento do impacto energético de aquecimento após intervenções combinadas, ao nível das subsecções no cenário A [KWh/ano]

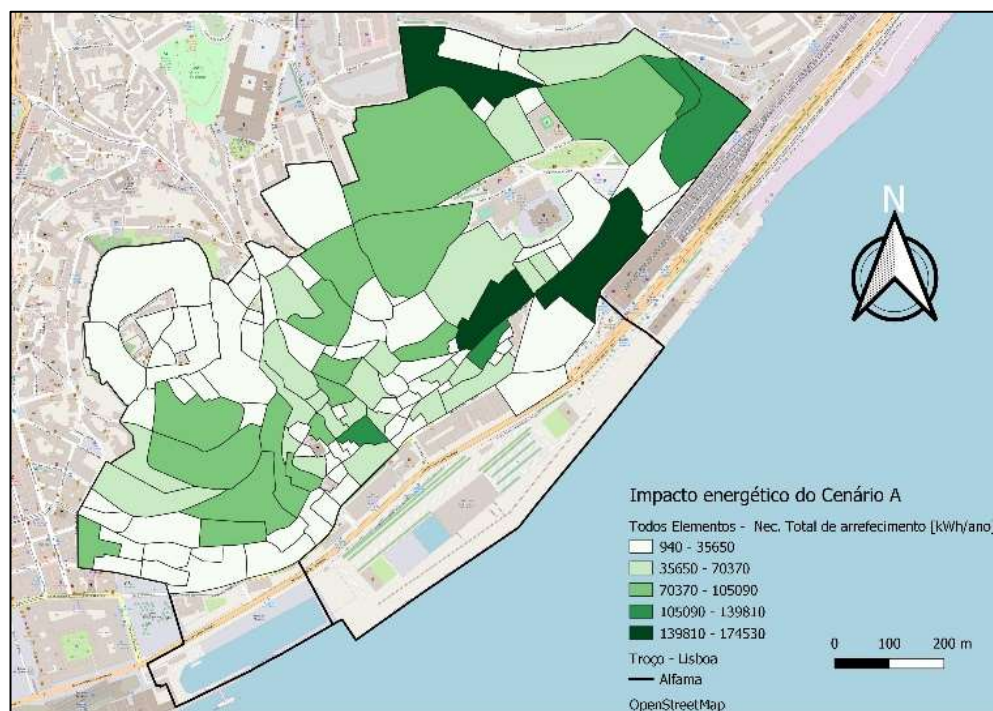


Figura C.8. Mapeamento do impacto energético de arrefecimento após intervenções combinadas, ao nível das subsecções no cenário A [KWh/ano]

- **Cenário B**

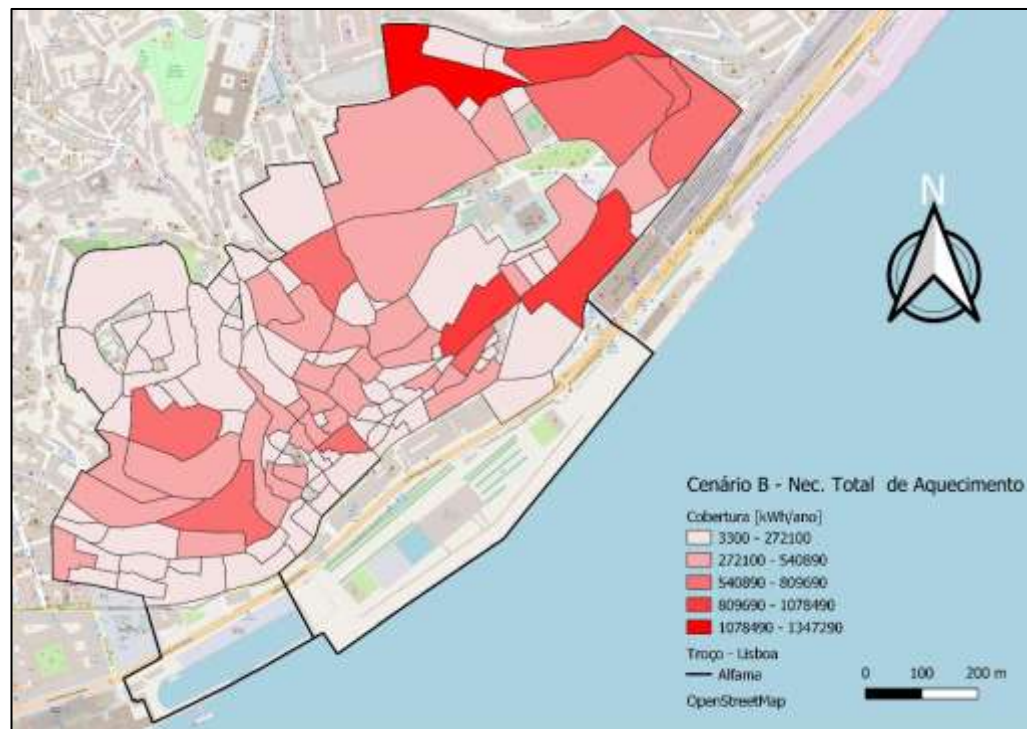


Figura C.9. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento após medida de melhoria das coberturas ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

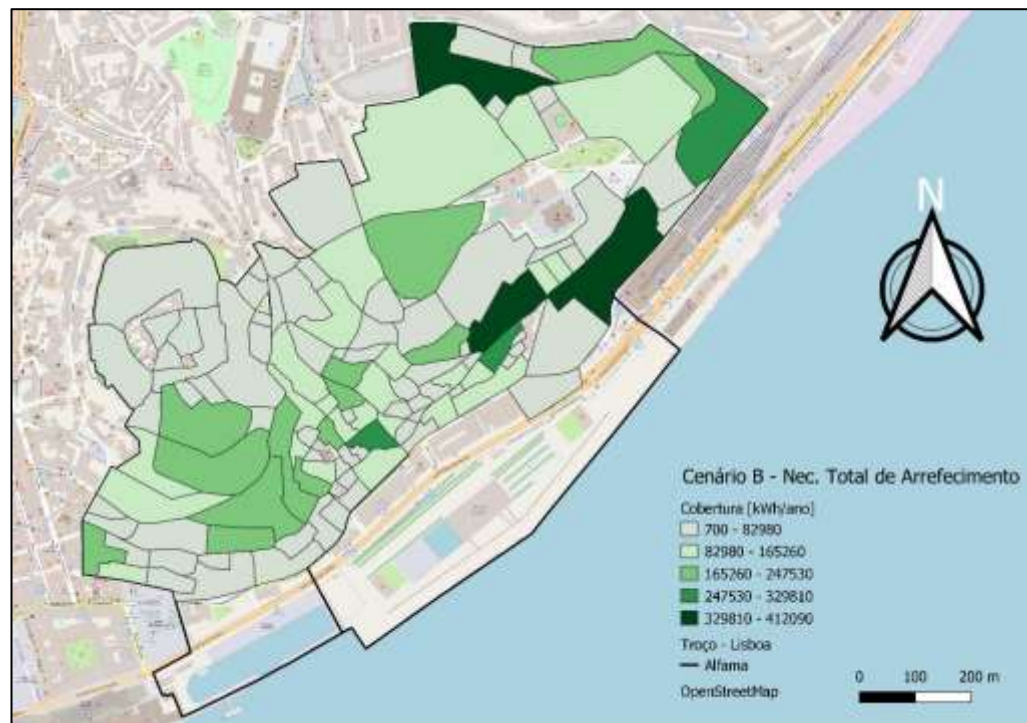


Figura C.10. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento após medida de melhoria das coberturas ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

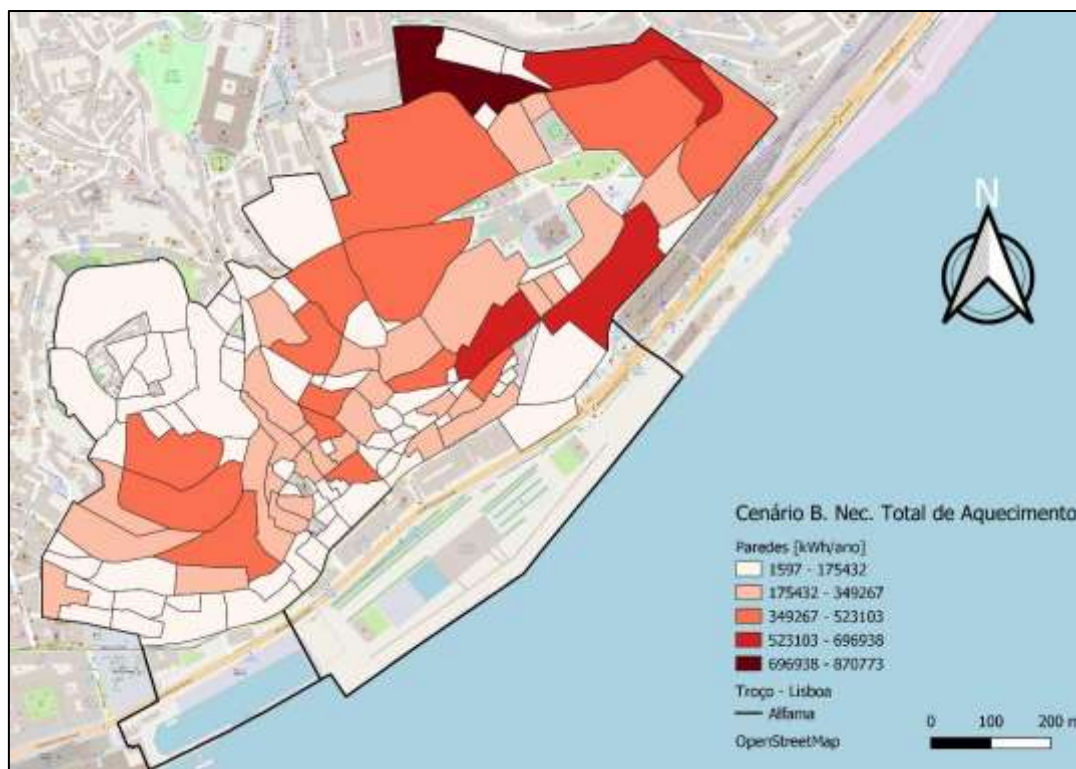


Figura C.11. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento após medida de melhoria das paredes ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

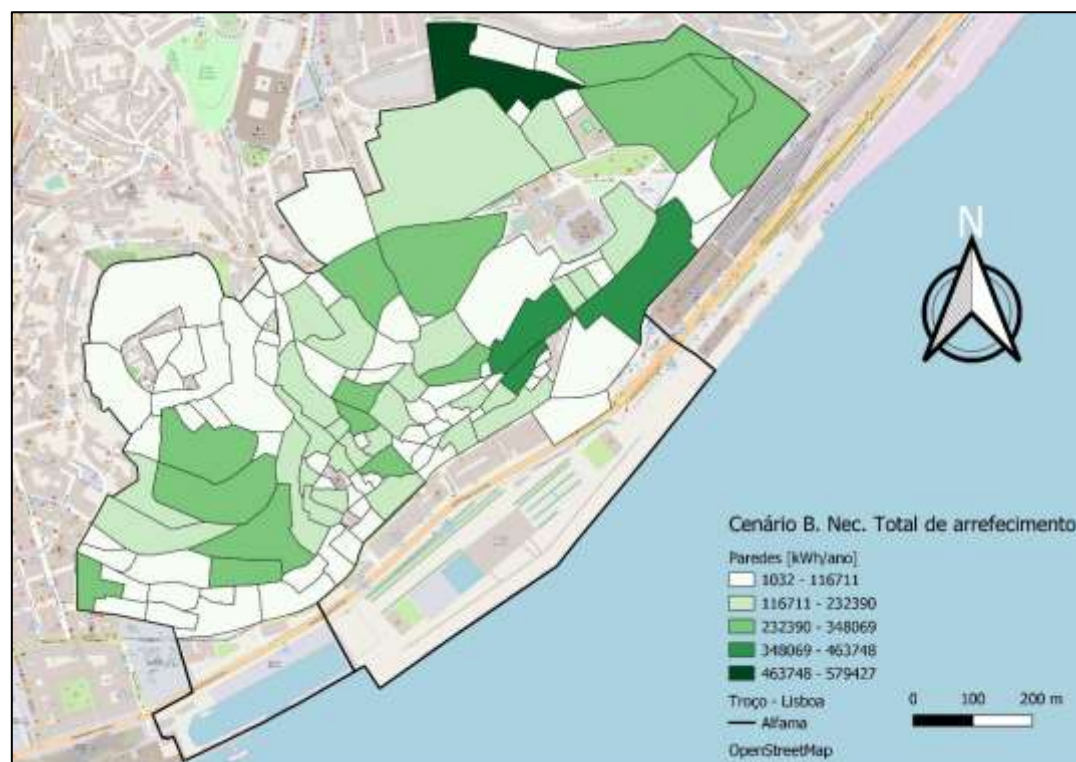


Figura C.12. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento após medida de melhoria das paredes ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

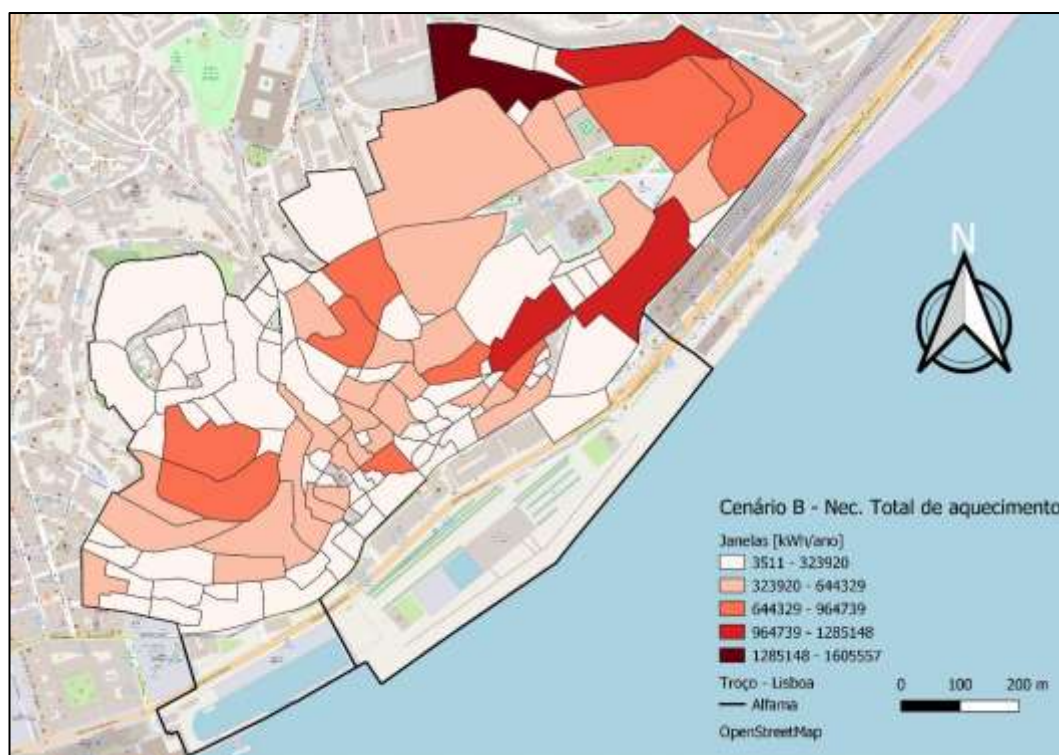


Figura C. 13. Mapeamento das necessidades energéticas de aquecimento após medida de melhoria dos envidraçados (janelas) ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

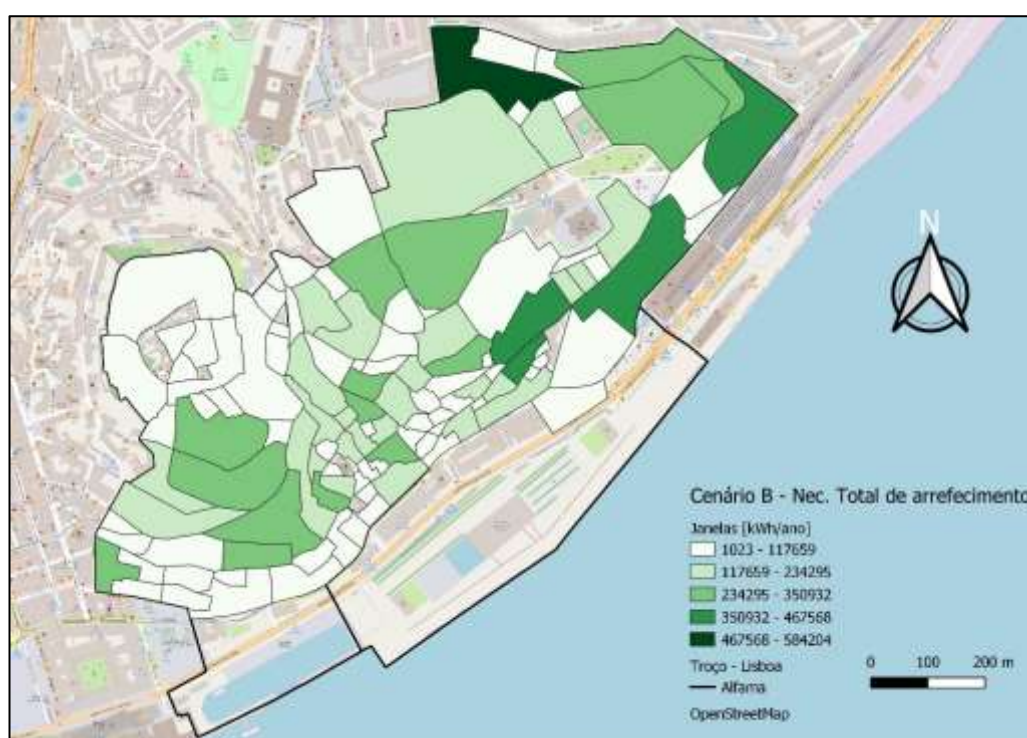


Figura C. 14. Mapeamento das necessidades energéticas de arrefecimento após medida de melhoria dos envidraçados (janelas) ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

- Impacto energético do cenário B

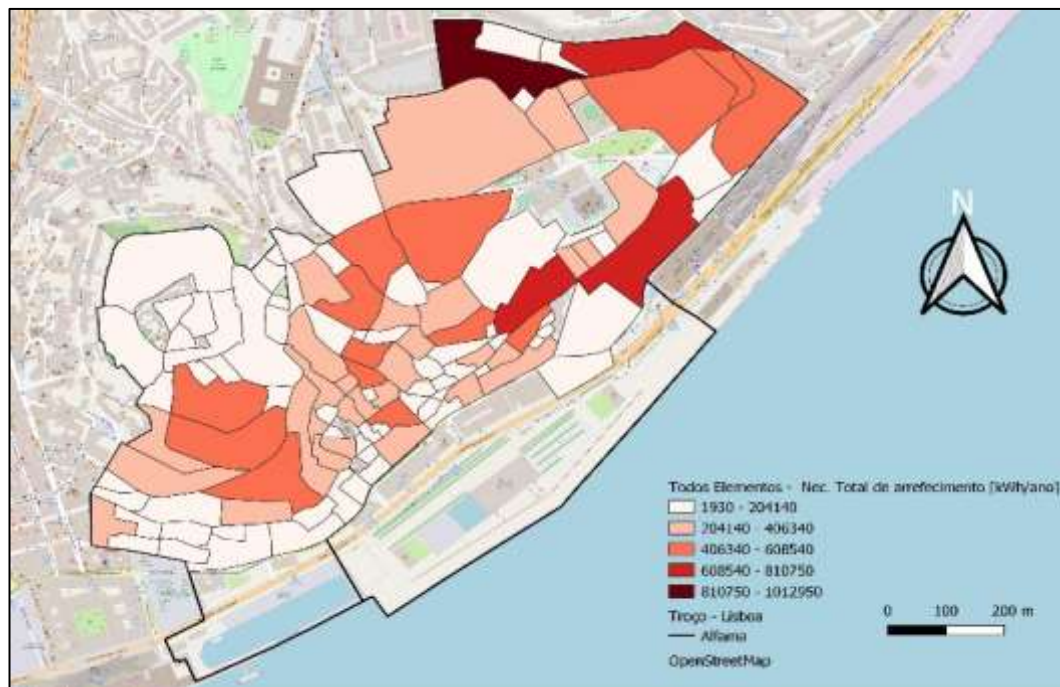


Figura C. 15. Mapeamento do impacto energético de aquecimento após intervenções combinadas, ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]

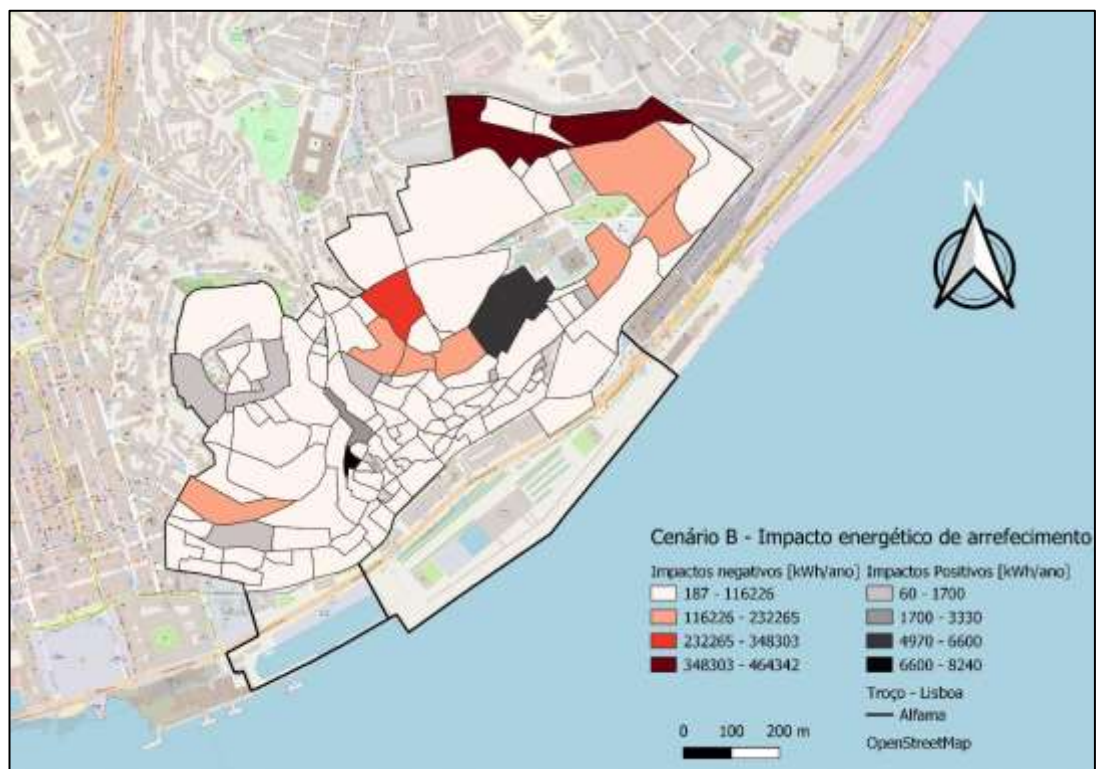


Figura C. 16. Mapeamento do impacto energético de arrefecimento após intervenções combinadas, ao nível das subsecções no cenário B [KWh/ano]